



Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon



Tiehallinnon selvityksiä 8/2009



Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon

Tiehallinnon selvityksiä 8/2009

Tiehallinto

Helsinki 2009

Kannen kuvat: Destia Oy:n kuva-arkisto

Verkkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)

ISSN 1459-1553

ISBN 978-952-221-172-9

TIEH 3201122-v

TIEHALLINTO

Keskushallinto

Opastinsilta 12 A

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0204 22 11

Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon. Helsinki 2009. Tiehallinto, Keskushallinto. Tiehallinnon selvityksiä 8/2009, 66 s. + liitt. 8 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-172-9, TIEH 3201122-v.

Asiasanat: ilmastonmuutos, hoito, ylläpito, tiet, tienpidon suunnittelu, lämpötila, talvi, talvihoido, suolaus, sade, routa, liukkaudentorjunta

Aiheluokka: 70, 71

TIIVISTELMÄ

Suomen ilmaston keskilämpötilan arvioidaan nousevan vuoteen 2040 mennessä yli 2 °C ja sademäärän lisääntyvän 5 - 10 %. Sekä lämpötilan nousu että sademäärän lisäys on suurempaa talvella kuin kesällä. Terminen ja lumipeitteinen talvi lyhenee ja kesän hellepäivien määrä lisääntyy. Roudan tunkeutumisvyvyys pienenee merkittävästi vuosisadan loppuun mennessä

Työn tavoitteena on ollut selvittää kuinka ilmastonmuutos vaikuttaa tiestön hoitoon ja ylläpitoon, arvioida muutosten kustannusvaikutuksia sekä esittää suosituksia tienpidon muutoksiksi. Tulokset perustuvat kirjallisuusselvitykseen, kahden lämpimän talven (2006 - 2007 ja 2007 -2008) vaikutusten analysointiin sekä asiantuntija-arvioihin.

Eteläisessä Suomessa noudatettavat talvihoidon menettelyt siirtyvät jatkuvasti pohjoisemmaksi. Yleistyvät talvimyrskyt lisäävät lyhytaikaisen lumenpoistokapasiteetin tarvetta, mutta kaikkiaan aurasuuremäärät säilyvät ennallaan tai pienentyvät talvien lyhentyessä. Liukkaudentorjunnan tarve lisääntyy Keski- ja Pohjois-Suomessa. Suolaustarve kääntyy laskuun vasta kuluva vuosisadan puolivälin jälkeen. Talvihoidon toimintalinjat on vastikään uusittu eikä niitä ole tarvetta muuttaa. Ilmastonmuutoksesta johtuen talvihoidon rahoitustarve lisääntyy hieman.

Talvisin paljaat tienpinnat yleistyvät erityisesti talvihoitoluokassa Ib. Lämpimät ja sateiset talvet nopeuttavat teiden urautumista. Lisääntyvät sulamisjäätymissyklit rapauttavat päällysteitä ja teiden reikiintyminen lisääntyy. Lisääntyvien sateiden seurauksena pohjaveden pinnan tasot nousevat, mikä heikentää erityisesti vähäliikenteisen tiestön kantavuutta ja nopeuttaa tien harjanteen kasvua. TTS-kaudella on varauduttava päällysteiden ylläpitotarpeen ja kustannusten lisääntymiseen jopa 10–20 miljoonalla eurolla, jos lähivuosien talvet ovat lämpimiä ja märkiä. Tästä huolimatta välitöntä tarvetta päällysteiden ylläpidon ohjeiden tai toimintalinjojen muutokseen ei ole, mutta tiestön kunnon kehittymistä on mitattava ja analysoitava jatkuvasti.

Lisääntyvät sateet ja leudot talvet vaikeuttavat kevään kelirikkoa. Myös sateista johtuvan syyskelirikon määrä lisääntyy merkittävästi. Vasta uusitun sorateiden hoidon ja ylläpidon toimintalinjojen suositukset ovat hyviä myös ilmastonmuutoksen vaikutusten torjunnassa. Ilmastonmuutoksesta johtuen sorateiden hoidon ja ylläpidon rahoitustarve lisääntyy ensi vuosikymmenellä noin 5–10 miljoonalla eurolla.

Teiden ja siltojen suunnittelussa on varauduttava myös lisääntyvien sateiden ja vesiuomien virtaamien aiheuttamiin tulva- ja eroosioriskien kasvuun.

The effect of climate change on the routine and periodic maintenance of roads. Helsinki 2009. Finnish Road Administration, Central Administration. Finnra reports 8/2009, 66 p. + app. 8 p. ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-172-9, TIEH 3201122-v.

Keywords: climate change, routine maintenance, periodic maintenance, roads, road maintenance, temperature, winter, winter maintenance, salting, rain, frost, de-icing

SUMMARY

In Finland, the average temperature is estimated to increase over 2°C and the rainfall by 5-10% by the year 2040. Both the rising of the temperature and the increase of the rainfall are more intense during the winter than the summer. The thermal and snow-covered winter is going to shorten and the number of days with above +25°C in summertime is going to increase. The frost depth is going to decrease significantly by the end of the century.

The objective of this study has been to find out how the climate change is affecting the routine and periodic maintenance of roads and also to assess the expenses of these effects. Further, the objective is to present necessary changes to maintenance guidelines policies. The results are based on a literature research, analyzes of the effects of two warm winters (2006-2007 and 2007-2008) and expert estimations.

The winter maintenance procedures applied in Southern Finland are being transferred to the more northern parts of Finland all the time. The winter storms are becoming more common which increases the need of capacity of the short-range snow removal, but in all, the number of snow removals stays the same or decreases while the winters are getting shorter. The need for de-icing is increasing in the Middle and North Finland. The need for salting is apparently going to decrease only after the middle of the ongoing century. The winter maintenance policies have just been revised and there's no need to change them at the moment. Because of the climate change, the winter maintenance costs are going to increase slightly.

During wintertime, bare road surfaces are becoming more common especially in the winter maintenance class Ib. Warm and rainy winters accelerate the rutting of pavements. The increasing frosting-defrosting cycles increase pavement wear and the pavement defects are increasing. Due to increasing rainfall, the groundwater table will rise, which reduces the load carrying capacity of low volume roads and accelerates the increase of ridge height in the minor road network. It is estimated that by the end of the five-year planning period, the maintenance costs will increase by 10–20 million € if the forthcoming winters are mild and wet. Nevertheless, there's no direct need to change the pavement guidelines or policies but it is necessary to analyze the condition of the road network continually.

The increasing rains and mild winters are complicating structural thaw weakening. The recommendations given in the new maintenance policies for gravel roads are strongly advisable also for eliminating the effects of climate change. Because of the climate change, the maintenance costs are going to increase by 5–10 million € by the end of the next decade.

When planning new roads and bridges, one has to prepare for the increase of the erosion and flood risks caused by increasing rains and flows of water.

ESIPUHE

Ilmaston lämpeneminen ja lisääntyvät sateet rappeuttavat tieverkkoa aiempaa nopeammin. Talvet 2006–2007 ja 2007–2008 poikkesivat merkittävästi edellisistä talvista. Ilmaston muutoksilla on tiestön rappeutumisen ja lisääntyneen hoitotarpeen johdosta ilmeisiä vaikutuksia hoidon ja ylläpidon kustannuksiin. On tunnistettava ne muutokset joilla on merkittävimmät taloudelliset vaikutukset, jotta niiden vaikutuksia voidaan pyrkiä eliminomaan tienpidon suunnittelussa.

Tässä työssä on selvitetty ilmastonmuutoksen vaikutuksia tiestön hoitoon ja ylläpitoon. Raportissa on tehty aiheesta kansainvälinen kirjallisuusselvitys, selvitetty lyhyesti ilmastonmuutoksen vaikutuksia yleisesti sekä tienpidon kannalta, analysoitu talvien 2006–2007 ja 2007–2008 vaikutuksia ja lopulta esitetty suositukset tienpidon muutoksiksi.

Työ on osa Tiehallinnon Liikennejärjestelmän taloudellisuus -tutkimusteemaa. Teeman tavoitteena on parantaa tienpidon kustannusten hallintaa ja kustannusohjausta sekä kehittää tienpidon tuottavuutta ja vaikuttavuutta. Lisäksi yhdenmukaistetaan tienpidon eri osa-alueiden taloudellisten analyysien käsitteitä, menettelyjä ja menetelmiä.

Selvitystä ohjanneeseen projektiryhmään ovat kuuluneet:

Vesa Männistö	Tiehallinto, pj
Pertti Hirvi	Tiehallinto
Patrick Hublin	Tiehallinto
Eira Järviluoma	Tiehallinto
Tuovi Päiviö-Leppänen	Tiehallinto

Selvityksen ovat laatineet yhteistyössä Destia Oy ja Ilmatieteen laitos. Työstä ovat vastanneet FT, DI Antti Ruotoistenmäki projektipäällikkönä, DI Olli Mäkelä, DI Jussi Sipilä, DI Aarno Valkeisenmäki ja DI Silja Savolainen Destia Oy:stä sekä FT Kirsti Jylhä, FT Ari Venäläinen ja FM Mikko Laapas Ilmatieteen laitoksesta.

Selvitystyöhön on sisällynyt laaja Tiehallinnon ja hoitourakoitsijoiden, lähinnä Destia Oy:n kunnossapidon vastuuhenkilöiden teemahaastattelukierros. Selvityksen alustavia tuloksia ja johtopäätelmiä on käsitelty seminaaritilaisuudessa tammikuussa 2009.

Helsingissä maaliskuussa 2009

Tiehallinto
Asiantuntijapalvelut

Sisältö

1	JOHDANTO JA TAVOITTEET	9
1.1	Vaikutusketju	9
1.2	Tavoitteet	10
2	ILMASTONMUUTOKSEN PERUSTEET JA ARVIOITU MUUTOS SUOMESSA	11
2.1	Ilmastomuutoksen perusteet ja fysikaalinen tausta	11
2.2	Ilmastomuutos Suomessa	12
2.3	Ilmastomuutoksen vaikutukset	16
3	KIRJALLISUUSSELVITYS ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSISTA TIENPITOON	21
3.1	Ilmastomuutoksen vaikutukset tienpitoon Pohjoismaissa	21
3.2	Ilmastomuutoksen vaikutukset tienpidon kustannuksiin	23
3.3	Ruotsin varautuminen ilmastomuutokseen tienpidossa	24
3.4	Keliolosuhteiden vaikutus liikenneturvallisuuteen	25
4	VUOSIEN 2006–2008 VAIKUTUSTEN ANALYSOINTI	27
4.1	Vuosien 2006–2008 erot aikaisempiin vuosiin	27
4.2	Talvikeliä muuttuminen	30
4.2.1	Yleistä	30
4.2.2	Ajokelit talvikausina 2005 - 2008	30
4.3	Talvihoito	33
4.3.1	Talvihoidon toimenpidemäärät	33
4.3.2	Sään vaikutus toimenpidemääriin	37
4.3.3	Suolan käyttömäärät	39
4.3.4	Hiekoitushiekan käyttömäärät	41
4.4	Päällysteiden ylläpito	42
4.5	Sorateiden hoito	47
4.5.1	Sorateiden palvelutaso	47
4.5.2	Kesäsuolan käyttömäärät	49
4.6	Sorateiden ylläpito	51
4.7	Siltojen hoito ja ylläpito	53
5	VAIKUTUKSET HOIDON JA YLLÄPIDON TOIMINTATAPOIHIN	55
5.1	Talvihoito	55
5.2	Päällysteiden ylläpito	58
5.3	Sorateiden hoito ja ylläpito	60
5.4	Siltojen hoito ja ylläpito	61
5.5	Muut hoitoon ja ylläpitoon liittyvät suositukset	61
6	VAIKUTUKSET HOIDON JA YLLÄPIDON KUSTANNUKSIIN	62

7 LÄHDEAINEISTO	65
8 LIITTEET	67

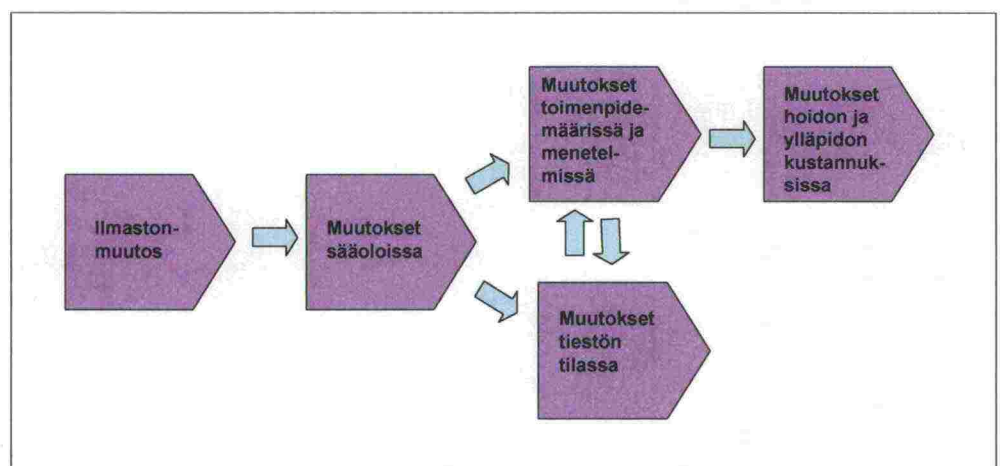
1 JOHDANTO JA TAVOITTEET

1.1 Vaikutusketju

Ilmastossa tapahtuu jatkuvasti tiestöön vaikuttavia muutoksia. Merkittävin muutos on syntymässä ilmaston lämpenemisen myötä, mutta myös lisääntyvät sateet rappeuttavat tieverkkoa entistä enemmän. Erilaiset ääri-ilmiöt, kuten pitkät kuivat kaudet, voimakkaat sateet ja niiden aiheuttamat tulvat, ovat lisääntymässä.

Kaksi lähimenneisyyden talvikautta, 2006 - 2007 ja 2007 - 2008 olivat merkittävästi edellisiä talvia lämpimämpiä, mikä yhdessä lisääntyvän liikenteen kanssa kiihdyttää tiestön rappeutumista usealla eri tavalla ja lisää ylläpitotarvetta. Jäätymispisteen molemmiin puolin vaihteleva lämpötila yhdessä liikennekuormituksen kanssa rapauttaa päällystettä, mikä havaittiin jo talvikaudella 2004 - 2005. Entistä lämpimämpinä talvina nastarenkaiden aiheuttama kulutus on aiempaa nopeampaa. Leudot talvet lisäävät teiden suolaustarvetta. Myös poikkeuksellisen runsaat lumisateet lisäävät talvihoidolta vaadittavaa kapasiteettia, mikäli nykyinen palvelutaso halutaan säilyttää.

Monet erilaiset muutokset vaikuttavat hoidon ja ylläpidon kustannuksiin, usein kustannukset nousevat, mutta joskus myös laskevat. Tämän työn tarkoituksena on tunnistaa merkittävimmät muutokset ja selvittää niiden vaikutukset, jotta kielteisiä vaikutuksia pystytään mahdollisimman tehokkaasti eliminoimaan. Erityisesti tarvitaan konkreettista tietoa muutosten kustannusvaikutuksista, jotta tienpidon ohjausta voidaan ohjata oikeaan suuntaan. Ilmastomuutoksen vaikutusten arvioimiseksi vaikutusmekanismit (kuva 1) on tunnettava.



Kuva 1. Ilmastomuutoksen vaikutusmekanismit tiestön hoitoon ja ylläpitoon ja niiden kustannuksiin.

Ilmastomuutos vaikuttaa sääoloihin, kuten lämpötiloihin, sateisuuteen ja tuulisuuteen. Vaikka vaikutukset ovat yleensä samansuuntaisia, niiden suuruus saattaa vaihdella maan eri osissa ja eri vuodenaikoina.

Teiden hoidossa sääolot vaikuttavat suoraan osaan hoitotoimenpiteistä. Esimerkiksi lumisade käynnistää aurauksen, jolloin lumisateiden määrä heijastuu suoraan aurausten määrään ja kustannuksiin. Toisaalta osa hoitotoimenpiteistä, kuten polanteen poisto suolaamalla tai höyläämällä, käynnistyy tienpinnan tilan perusteella. Tienpinnan tilaan, tässä tapauksessa polanteisuuteen taas vaikuttavat toisaalta sääolot ja toisaalta edeltäneet hoitotoimenpiteet, joten tältä osin vaikutusmekanismit ovat monimutkaisempia.

Ylläpidossa sääolot heijastuvat yleensä siten, että ne aiheuttavat muutoksia tiestön tilassa ja sitä kautta ylläpitotoimenpiteiden tarpeessa. Esimerkiksi päällysteiden osalta märät ja paljaat tienpinnat edistävät nastarengaskulutuksesta aiheutuvaa urautumista, mikä lisää päällysteiden korjaustarvetta. Kelirikkokorjausten tarpeen osalta vaikutusmekanismit ovat monimutkaisempia liittyen sademääriin maan routaantumisaikaan, routaantumiseen määrään vaikuttavaan talven pakkassummaan sekä roudan sulamisajan sääoloihin.

Esimerkkinä vaikutuksista käytettäviin menetelmiin on säänkestävien päällysteiden käyttäminen. Näillä estetään veden tunkeutumista tierakenteeseen ja sitä kautta vaikutetaan sekä tien elinkaarikustannuksiin että tiestön tilaan päällysteen hitaamman vaurioitumisen myötä.

Syy-seuraus -suhteiden tunteminen on oleellista, jotta analyysiin osataan valita soveltuvat säätä ja tien kuntoa kuvaavat tunnusluvut.

1.2 Tavoitteet

Työn tavoitteena on analysoida, miten ilmastossa tapahtuvat muutokset vaikuttavat tiestön hoitoon ja ylläpitoon. Työn erityisenä tavoitteena on etenkin kansainvälisesti saatavilla olevia tutkimustuloksia hyödyntämällä tuottaa konkreettista tietoa muutosten kustannusvaikutuksista. Tavoitteena on edelleen selvittää, miten taloudellisesti merkittävät vaikutukset tulee huomioida tiestön hoidossa ja ylläpidossa. Tienpidon muutokset viedään käytäntöön kehittämällä hoidon ja ylläpidon toimintalinjoja, ohjeita ja laatuvaatimuksia.

2 ILMASTONMUUTOKSEN PERUSTEET JA ARVIOITU MUUTOS SUOMESSA

2.1 Ilmastomuutoksen perusteet ja fysikaalinen tausta

Maapallon ilmasto on muuttunut lukemattomia kertoja luonnollisten syiden kautta sen koko pitkän historian aikana. Maapallon ilmastohistoriasta löytyy suuriakin mullistuksia, osoittaen ilmastojärjestelmän olevan herkkä erilaisille pakotteille. Muutoksien alkusysäyksinä ovat toimineet mm. mantereiden liikkeet ja niistä aiheutuva vuoristojen synty, ilmakehän koostumuksen luontaiset muutokset sekä eripituiset auringonsäteilyn jakaumaan vaikuttavat jaksollisuudet maapallon kiertoradassa ja kallistuskulmassa. Edellä mainittujen tekijöiden yhdessä ilmastojärjestelmän palauteilmiöiden kanssa aiheuttamat muutokset ovat kuitenkin tapahtuneet ihmisen näkökulmasta hitaasti.

Edellä esiteltujen luonnollisten, hitaita muutoksia aiheuttavien tekijöiden rinnalle on viimeisen reilun parin vuosisadan aikana noussut uusi tekijä, ihmiskunta. Teollisen vallankumouksen alkamisen jälkeen ihmiskunnan päästöt ovat nostaneet ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuutta kiihtyvällä tahdilla, häiriten täten maapallon lämpötasapainoa.

Elämä maapallolla, ainakaan nykyisen kaltaisena, ei olisi mahdollista ilman ilmakehän niin kutsuttua kasvihuoneilmiötä. Se estää tehokkaasti lämpöä karkaamasta avaruuteen, ja ilman sitä maapallon keskilämpötila olisikin nykyisen noin $+15^{\circ}\text{C}$ sijasta noin -18°C . Keskeisessä asemassa tässä ilmiössä ovat ilmakehän kasvihuonekaasut, jotka sitovat tehokkaasti maapallon lähettämää lämpösäteilyä, mutta toisaalta eivät estä auringonsäteilyn imeytymistä maahan, meriin ja ilmakehään, missä auringon säteilyn energia muuttuu lämmöksi.

Toiminnallaan ihmiskunta on kasvattanut kasvihuonekaasujen osuutta ilmakehän koostumuksessa. Tällöin entistä suurempi osa maapallon lähettämästä lämpösäteilystä jää sen vaikutuspiiriin ja täten lämmittää maapalloamme. Tähän mekanismiin pohjautuu nykyinen kasvihuoneilmiön voimistuminen ja siitä seuraava ilmastomuutos.

Hiilidioksidi on ihmiskunnan tuottamista kasvihuonekaasuista ylivoimaisesti tärkein. Hallitustenvälisen Ilmastopaneelin (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 2007) mukaan ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on kohonnut noin 30 % esiteollisesta ajasta. Tämä tarkoittaa pitoisuuden kasvua noin 280 ppm:stä (ppm = tilavuuden miljoonasosa) noin 380 ppm:ään, josta suuri osa on tapahtunut viime vuosikymmenien aikana. Nykyään hiilidioksidipitoisuuden kasvu jatkuu noin 2 ppm:n vuositahdilla. Vastaavasti metaanipitoisuus on noussut noin 150 % ja dityppioksidin pitoisuus vajaat 20 %, kaasujen absoluuttisten määrien ollessa kuitenkin huomattavasti hiilidioksidia pienempiä.

Ihmiskunnan kasvihuonekaasupäästöistä merkittävin osa syntyy fossiilisten polttoaineiden käytöstä energian tuotannossa ja liikenteessä. Muita huomattavia lähteitä ovat mm. maatalous ja kaatopaikat sekä maankäyttöön liittyvät tekijät kuten metsien hävittäminen.

Kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi ilmastonmuutoksessa ovat merkittävässä roolissa ilmakehässä esiintyvät pienhiukkaset eli aerosolit. Myös näiden osuus ilmakehässä on kasvanut teollistumisen myötä luonnollisten lähteiden rinnalle tulneiden teollisuuden ja liikenteen päästöjen myötä. Ihmisperäisiä aerosoleja ovat mm. noki, sulfaatit ja nitraatit. Kasvihuonekaasuista poiketen aerosoleilla on ilmastoa viilentävä vaikutus: ne sekä sirottavat auringonsäteilyä vähentäen maanpinnalle saapuvan säteilyn määrää että toimivat pilvipisaroiden tiivistymisytiminä, mikä vaikuttaa pilvien kykyyn heijastaa auringonsäteilyä takaisin avaruuteen. On kuitenkin syytä huomioida että aerosolien kokonaisvaikutus ilmastonmuutoksen kannalta on huomattavasti huonommin tunnettu ilmiö kuin kasvihuonekaasujen vaikutus. Lisäksi kasvihuonekaasujen poistuminen ilmakehästä on hidasta, kestäen kymmenistä satoihin vuosiin, kun taas valtaosa aerosoleista laskeutuu tai huuhtoutuu sateen mukana alas ilmakehästä viikoissa.

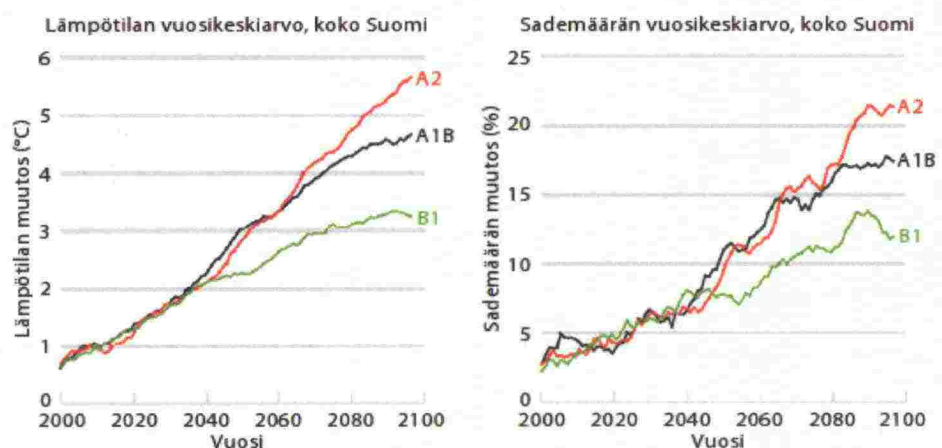
Keskeistä tulevien muutosten arvioimisessa ovat erilaiset ilmastojärjestelmän palauteilmiöt ja niiden vaikutus lopulliseen muutoksen määrään. Tärkein näistä palauteilmiöistä on vesihöyryn, joka siis on itsessään kasvihuonekaasu, määrä ilmakehässä. Lämpivä ilmakehä kykenee pitämään sisällään yhä enemmän vesihöyryä, mikä näin ollen tehostaa kasvihuoneilmiötä entisestään. Toinen, varsinkin paikallisesti tärkeä palauteilmiö liittyy lumen ja jään sulamiseen ilmaston lämmetessä. Alueilla joissa lumi- ja jääpeite kutistuvat paljastuva maan- tai merenpinta sitoo huomattavasti enemmän auringonsäteilyä kuin tehokkaasti heijastava lumi- tai jääpinta, mikä täten lämmittää ilmastoa entisestään. Osa ilmastojärjestelmän palauteilmiöistä on vielä varsin heikosti tunnettuja ja tämä luo epävarmuutta ilmastonmuutoksen suuruuden ennustamiseen.

Keskeinen väline ilmastonmuutostutkimuksessa ovat ilmastomallit. Ne ovat valtavaa laskentatehoa vaativia tietokoneohjelmia, jotka pyrkivät mallintamaan ilmastojärjestelmän käyttäytymistä fysiikan lakeihin pohjautuen. Niillä näin ollen voidaan simuloida sitä kuinka mm. kasvavat kasvihuonekaasupitoisuudet ja erinäiset palauteilmiöt vaikuttavat tulevaan ilmastoon sekä eri tekijöiden osuutta jo havaittuihin muutoksiin. Malleilla pyritään kuvaamaan, pakosta välillä huomattavasti yksinkertaistaen, niin ilmakehän kuin merienkin yleistä kiertoliikettä sekä maaperän lämpötiloutta, ja tärkeänä osana näiden keskinäisiä vuorovaikutuksia.

2.2 Ilmastonmuutos Suomessa

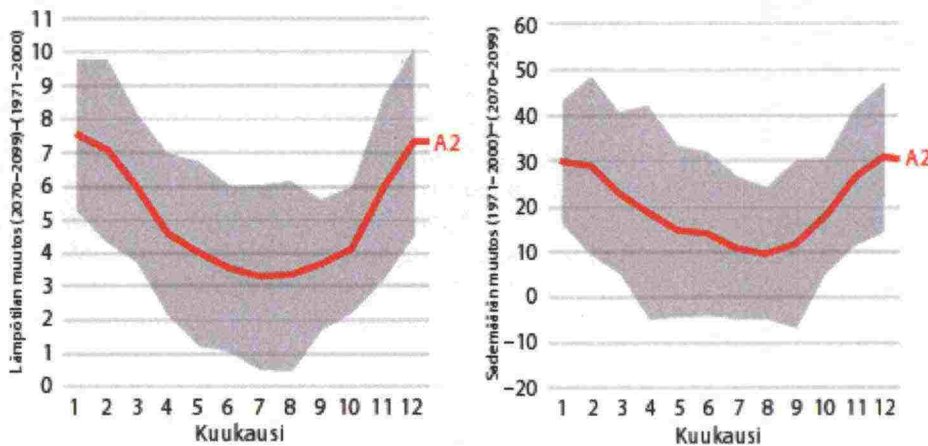
Tulevia ilmastonmuutoksia arvioitaessa on ratkaisevaa, millaisiksi ihmiskunnan päästöt ja niistä seuraavat kasvihuonekaasujen pitoisuudet tulevaisuudessa kehittyvät. Niihin vaikuttavat mm. maapallon väestömäärän kehitys, maailmantalouden kehitys ja käytettävät energiantuotantotavat. Näitä erilaisia kehityksen kulkusuuntia varten on luotu joukko erilaisia päästöskenaarioita, joista tunnetuin on IPCC:n SRES-skenaarioperhe (Nakićenović et al. 2000). Suomen tulevaa ilmastoa arvioitaessa on yleisimmin käytetty kolmea SRES-skenaariota, A2-skenaariota edustaessa varsin pessimististä ja B1-skenaariota edustaessa hyvinkin optimistista tulevaisuudenkuvaa, A1B-skenaario sijoittuu näiden kahden ääripään välimaastoon. IPCC:n näkemyksen mukaan kaikki nämä tulevaisuuden skenaariot ovat kuitenkin mahdollisia, eikä mitään tiettyä skenaariota voida pitää muita todennäköisempänä.

Viimeisimmät arviot Suomen tulevasta ilmastosta (ACCLIM-hanke) perustuvat 19 eri globaalin ilmastomallin tuloksiin, samoihin mitä tuoreimmassa IPCC:n ilmastomuutosraportissa käytettiin. Tulosten mukaan Suomen ilmasto muuttuu selvästi nopeammin kuin maapallolla keskimäärin, suurimman muutoksen keskittyessä talvikuukausille. Erot eri SRES-päästöskenaarioihin perustuvien tulosten välillä tulevat selviksi vasta noin vuoden 2040 jälkeen. Lisäksi on syytä pitää mielessä, että ilmaston vaihtelevuus tulee säilymään jatkossakin. Kylmiä pakkastalvia esiintyy myös tulevana vuosikymmeninä, tosin niiden todennäköisyys pienenee vuosikymmenestä toiseen.



Kuva 2. Suomen vuosittaisen keskilämpötilan (vasen) ja sademäärän (oikea) ennustettu muutos 19 ilmastomallin keskiarvona kolmelle eri kasvihuonekaasujen päästöskenaariolle vuosina 2000 - 2100 verrattuna jakson 1971 - 2000 keskiarvoon.

Kuvassa 2 on esitettyä 19 mallin keskiarvona eri päästöskenaarioiden mukaiset arviot vuosittaisen keskilämpötilan ja sademäärän kehityksestä kuluvaan vuosisadan loppuun asti koko Suomen keskiarvona. Kuvassa 3 on vastaavasti esitettyä keskilämpötilojen ja sademäärien muutos Suomessa vuoden eri kuukausina vuosisadan lopulla A2-skenaariossa. Kuvasta ilmenee myös ilmastomallien eroista syntyvä epävarmuushaarukka. Kuukausittaisen sademäärien osalta tilanne on pääpiirteissään sama kuin lämpötilalla, mallien keskiarvona ja A2-skenaariotapauksessa talvikuukausien sademäärät kasvavat noin 30 % ja loppukesän noin 10 %. Tämän lisäksi vuorokausittaisen sademäärämaksimien odotetaan kasvavan kaikkina vuodenaikoina. Tosin sademäärien osalta eri mallien tulokset poikkeavat toisistaan selvästi enemmän kuin lämpötilan kohdalla. Jokunen malli ennustaa jopa kevään ja kesän sademäärien hieman laskevan.



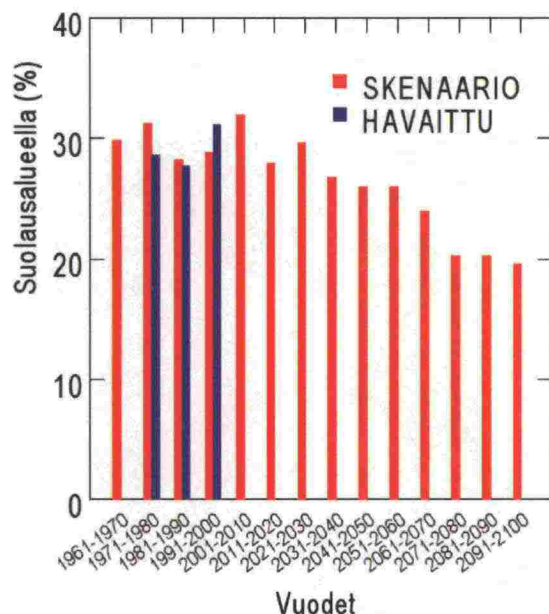
Kuva 3. Keskilämpötilan (vasen, °C) ja sademäärän (oikea, %) muutos Suomessa (1971-2000) → (2070-2099) vuoden eri kuukausina. Punainen käyrä esittää 19 ilmastomallin keskiarvoa, harmaa alue muutoksen 90 % todennäköisyysväliä. Luvut ovat koko Suomen alueen yli laskettuja keskiarvoja.

Tarkemman alueellisen tarkastelun tekeminen on suhteellisen epävarmaa, johtuen mallien varsin karkeasta alueellisesta erottelukyvystä. Varsinkin kesäpuolella vuotta lämpenemisessä ei näytä olevan juurikaan alueellisia eroja. Talvikuukausien osaltakin alueelliset erot tulevat esiin vasta vuosisadan lopulla, tosin tuloksien epävarmuushaarukka laajenee myös. Tulosten mukaan A2-skenaariön mukainen talvikuukausien ennustettu lämpeneminen jää aivan lounaisrannikolla alle 6 asteen, akselin Vaasa-Lappeenranta eteläpuolella 6-7 asteeseen ja muualla maassa Lapin koillisosia (yli 8 astetta) lukuun ottamatta 7-8 asteeseen (Ruosteenoja et al. 2005).

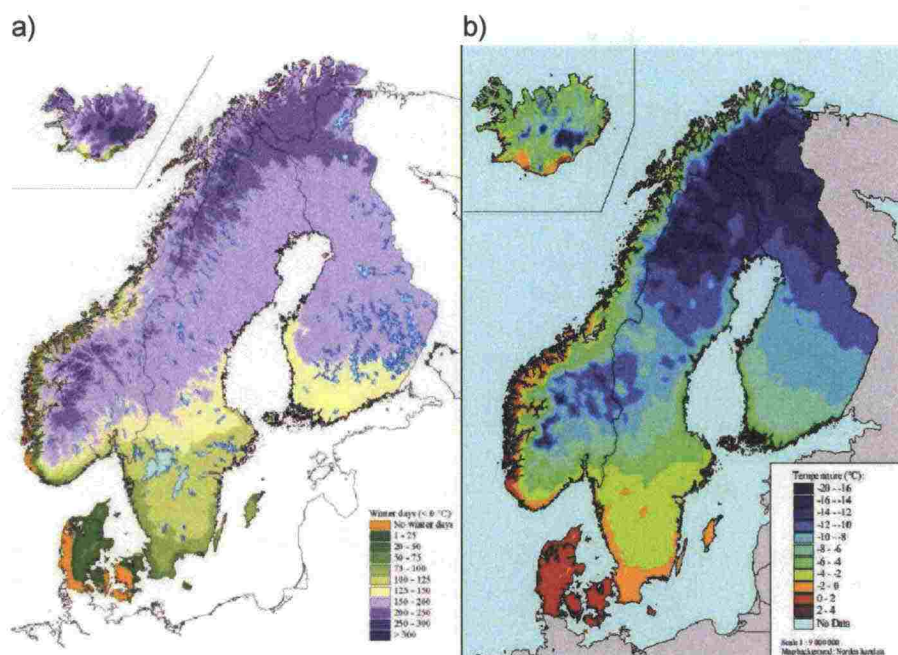
Vaikka keskilämpötilat niin vuosi- kuin kuukausitasollakin selvästi nousevat, ei tämä juurikaan näy lähivuosikymmenien aikana lämpötilajakauman keskivaiheilla. Tästä on esimerkkinä tienpidolle tärkeä suolaustarpeen lämpötila-alue, mikä käsittää lämpötilat välillä +2...-6 °C. Kuvassa 4 on esitettyä vuositason eri vuosikymmeninä (keskiarvo) prosenttiosuus kokonaisajasta jolloin lämpötila on kyseisen suolausalueen sisällä eräässä Etelä-Suomen hilapisteessä. Kuten kuvasta nähdään, kääntyy kyseinen prosenttiosuus selvemmin laskuun vasta kuluvan vuosisadan puolivälin jälkeen. Kyseinen tulos tosin perustuu vain yhden ilmastomallin tuloksiin, joten sitä on syytä pitää lähinnä suuntaa antavana.

Jotain osviittaa Suomen olosuhteista lähivuosikymmeninä voidaan saada tarkastelemalla Ruotsin nykyilmastoja. Suomella ja Ruotsilla on luonnollisesti monia yhteisiä piirteitä ilmastoissaan, mutta erojakin löytyy. Talvikuukausien (joulukuu-helmikuu) keskilämpötila (kuva 5a) on Ruotsin eteläosissa 0 - 4 °C korkeampi kuin Suomen etelä- ja länsirannikolla, missä vastaavia lämpötiloja on odotettavissa jakson 2021 - 2050 aikana (Ruosteenoja et al. 2005). Mainittu muutaman asteen ero talven keskilämpötilassa näkyy selvästi talvikauden pituudessa, ajassa jona vuorokauden keskilämpötila on yleisesti nollan alapuolella. Suomen lounaisosissa se on 125 - 150 vrk, kun vastaavasti Ruotsin eteläosissa se vaihtelee 50 - 125 vrk:n välillä (kuva 5b). Sateiden osalta tilanne on monimutkaisempi. Sadepäiviä, eli päiviä joina sadetta on

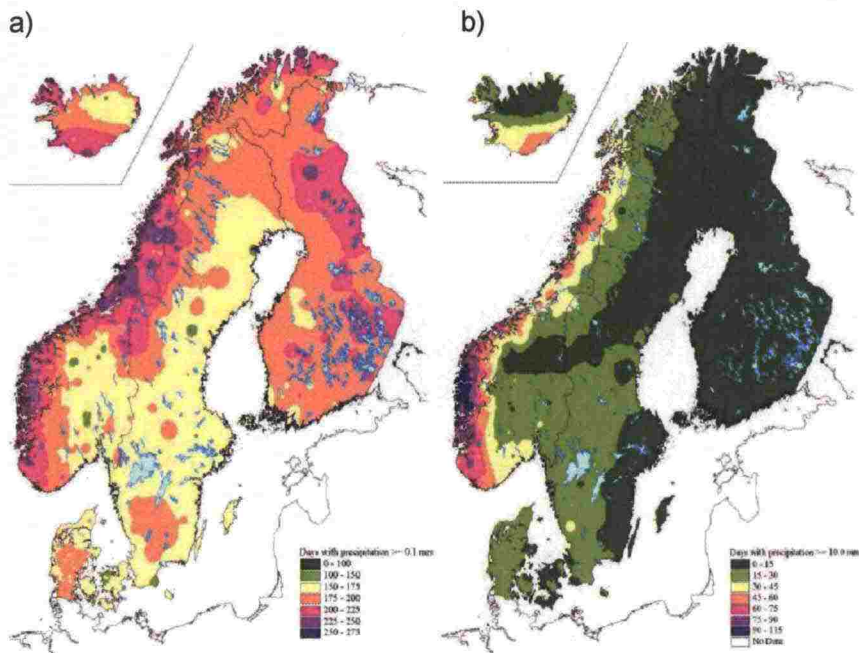
ylipäättään mitattu, on Suomessa yleisesti hieman enemmän (kuva 6a), mutta runsaan sateen päiviä (sademäärä ≥ 10 mm) taas on vastaavasti Ruotsin lounaisosissa enemmän (kuva 6b).



Kuva 4. Prosenttiosuus ajasta jona lämpötila on ns. suolausalueella eli $+2$ °C ja -6 °C välillä Etelä-Suomessa eri vuosikymmeninä ajalla 1961 - 1970 → 2091 - 2100. Oranssit pylväät kuvaavat ilmastomallin tuloksiin ja siniset pylväät havaintoihin perustuvia prosenttiosuuksia.



Kuva 5. Talven lämpöolot Pohjoismaissa 1961 - 1990. a) Keskimääräinen jouluhelmikuun keskilämpötila. b) talvikauden, eli ajan jona vuorokauden keskilämpötila alle nollan, pituus. (Tveito et al. 2000 & 2001)



Kuva 6. a) Keskimääräinen vuotuinen sadepäivien ($\geq 0,1$ mm) lukumäärä jaksolla 1961 - 1990. b) Sama mutta ≥ 10 mm sademäärille (Tveito et al. 2001).

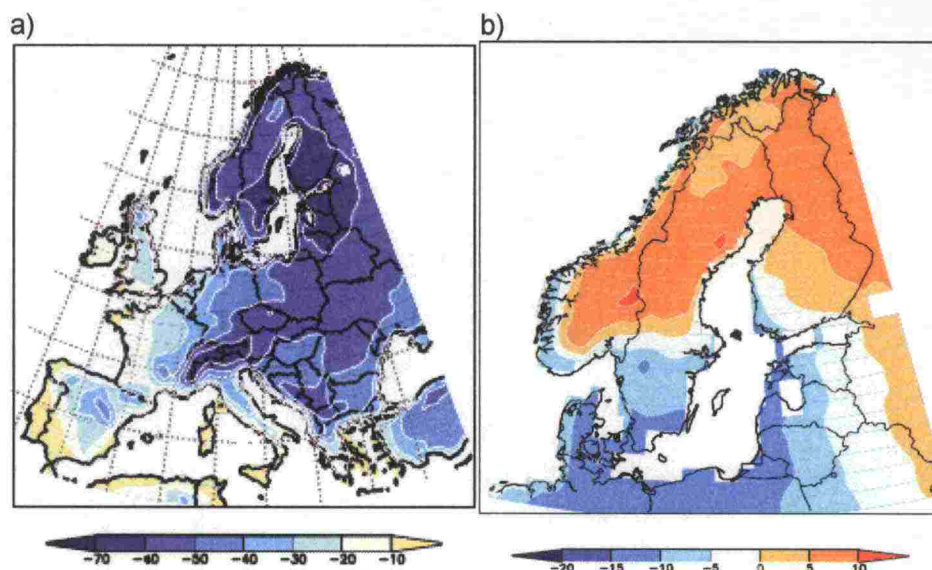
2.3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset

Kohoavilla lämpötiloilla ja kasvavilla sademäärillä on suuri vaikutus erityisesti talvi-ilmastoomme ja sen yhteiskunnallisiin vaikutuksiin. Lämpenevässä ilmastossa yhä suurempi osa sateesta tulee vetenä, ja tämä yhdistettynä yleistyyiin talvisiin suoja-aihin johtaa suuriin muutoksiin lumisateissa ja lumipeitteessä. Ilmastonmuutoksella on oma vaikutuksensa myös mm. tulvariskeihin, maan routautumiseen, pintojen eroosioon, pohjaveden korkeuteen ja liikenteen häiriöihin. Suomen tulevaisuuden talviolojen yksityiskohtia on tarkasteltu mm. alueellisten ilmastomallien tuloksia analysoimalla (Jylhä et al. 2008).

Seuraavat arviot muutoksista tulevaisuuden talviolosuhteissa perustuvat seitsemän (keskiarvo) alueellisen ilmastomallin alueellisiin tarkennuksiin yhden globaalin mallin tuloksista. Tarkastelun kohteena on A2-päästöskenaario ja sen tuottamat muutokset jaksojen 1961 - 1990 ja 2071 - 2100 välillä. Aikaisempien jaksojen kuten 2021 - 2050 osalta muutokset ovat luonnollisesti pienempiä lämpötilojen nousun jäädessä alle puoleen vuosisadan lopun tilanteesta. Tällöin muutokset peittyvät vielä suurelta osin ilmaston luonnollisesta vaihtelusta syntyvien erojen alle.

Tulosten mukaan syksyn ensimmäinen pakkanen viivästyy etelä- ja länsirannikolla reilut 30 vrk, eteläisen Suomen sisäosissa 25-30 vrk ja muualla Suomessa pohjoisinta Lappia, missä muutos 25-30 vrk, lukuun ottamatta 20-25 vrk. Kevään viimeinen pakkanen puolestaan aikaistuu rannikoilla (n. 50 km) 25-30 vrk ja muualla Suomessa 20-25 vrk. Vastaavasti pakkaspäivien (lämpötilan vuorokausiminimi pakkasen puolella) kokonaismäärä vähenee linjan Kemi-Kajaani pohjoispuolella 50-60 vrk, eteläpuolella 60-70 vrk ja Perämeren rannikolla yli 70 vrk (kuva 7a). Tämä luonnollisesti lisää kää-

täen suojasäiden määrää. Tästä pakkaspäivien määrän muutoksesta suurin osa osuu syksyille ja keväälle. Pakkaspäivien suurempi muutos suhteessa pakkaskauden pituuden muutokseen verrattuna johtaa nykyistä hajanaisempaan pakkaskauteen.

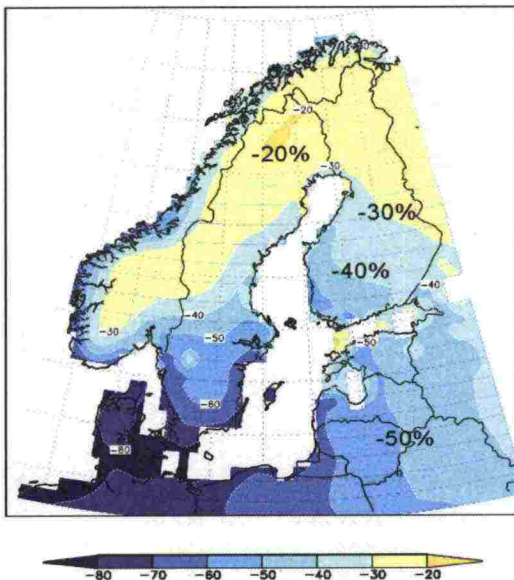


Kuva 7. a) Muutos jaksojen 1961 - 1990 ja 2071 - 2100 välillä. a) Pakkaspäivien vuotuinen lukumäärä. b) Joulu-helmikuun nollapistepäivien lukumäärä. (Jylhä et al. 2008)

Kohoavat lämpötilat vaikuttavat myös ns. nollapistepäivien (vuorokausi jonka lämpötilaminimi $< 0^{\circ}\text{C}$ ja lämpötilamaksimi $> 0^{\circ}\text{C}$) esiintymiseen. Nykyilmastossa näitä esiintyy eniten keväällä (maalis-toukokuu), keskimäärin noin 30 kpl. Yleisesti vuositasolla lämpeneminen johtaa nollapistepäivien vähenemiseen. Syksyn (syys-marraskuu) osalta väheneminen on 0-5 vrk Pohjois-Lapissa ja muualla Suomessa 5-10 vrk, keväällä vastaavasti linjan Kokkola-Lappeenranta lounaispuolella 10-15 vrk, Pohjois-Lapissa sekä Koillismaalla 0-5 vrk ja muualla maassa 5-10 vrk. Keväästä ja syksystä poiketen nollapistepäivien määrä kasvaa sydäntalvella (joulu-helmikuu) linjan Vaasa-Lappeenranta pohjoispuolella (kuva 7b) 0-10 vrk. Myös nollapistepäivien kokonaismuutos on pienempi kuin vastaava pakkaspäivien muutos. Tällöin tulevaisuuden pakkaspäivistä entistä suurempi osa on niitä joiden lämpötilamaksimi on plussan puolella, eli pakkaspäivien keskimääräinen ankaruus laskee.

Vaikka talvisateiden odotetaan lisääntyvän, sekä sadepäivien että vuorokausimaksimien osalta, aiheuttaa lämpötilojen kohoaminen lumisateiden ja lumipeitteen vähenemistä erityisesti Suomen etelä- ja länsiosissa. Lumipeite saapuu keskimäärin myöhemmin ja se sulaa keskimäärin aikaisemmin, yhdessä yleistyvien keskitalven lämpöjaksojen kanssa tämä vähentää vuotuisien lumipeitepäivien määrää voimakkaasti. Lounais-Suomessa (Vaasa-Kotka) lumipeitepäivien määrä laskee 40-50 %, linjan Kemi-Joensuu lounaispuolella 30-40 % ja muualla maassa 20-30 % (kuva 8). Lumen keskimääräistä syvyyttä kuvaavan lumen vesisisällön prosentuaaliset muutokset ovat vieläkin suurempia (50-70 %), eli yhä suurempi osa lumipeitepäivistä koostuu vain ohuesta lumipeitteestä. Kuitenkin olosuhteiden osuessa kohdilleen yhdessä kasvavien talvisademaksimien kanssa, voivat liikennettä suu-

resti haittaavat lumimyräkät voimistua. Yksi mahdollinen tekijä voimakkaiden lumisateiden tapauksessa on esim. etelärannikolta tuttujen, suhteellisen lämpimän meren ja kylmän ilman yhteisvaikutuksesta syntyneiden sankkojen lumisateiden esiintyminen myös Suomen suurien järvien yhteydessä. Nykyisin tämä ilmiö on järvien kohdalla varsin harvinainen, sillä järvet ehtivät useimpina vuosina jäähtyä / jäätyä ennen riittävän voimakkaiden kylmänpurkausten esiintymistä. Ilmaston lämmitessä järvet jäähtyvät hitaammin ja pysyvät auki pitkään. Tällöin kylmänpurkauksen sattuessa voi suurempien järvien järvenselillä syntyä voimakkaita lumikuuroja, jotka nauhamaisina voivat rantaan saapuessaan synnyttää suuriakin paikallisia lumisadekertymiä varsin lyhyessä ajassa. Koska tulevien lumiolojen kehitykseen vaikuttavat niin muutokset lämpötilassa kuin sateissakin, voivat muutokset kuluvan vuosisadan mittaan tapahtua joillakin alueilla varsin epälineaarisesti.



Kuva 8. Lumipeitepäivien keskimääräisen vuotuisen lukumäärän prosentuaalinen muutos jaksojen 1961-1990 ja 2071-2100 välillä (Jylhä et al. 2008).

Talviolojen muuttumisella on luonnollisesti oma vaikutuksensa myös maan routautumiseen. Talven pakkasten leudontuessa keskimääräinen maan routautuminen vähenee nykyisestä, tosin hupeneva lumipeite ei toisaalta hidasta sen muodostumista entiseen tapaan. Lumettoman maan tapauksessa, kuten teiden voidaan tässä tapauksessa olettaa olevan, tulevien routaolojen arvioiminen yksinkertaistuu (Venäläinen et al. 2001). Tässä tapauksessa keskimääräisen roudan maksimipaksuuden odotetaan tippuvan Etelä- ja Keski-Suomessa nykyisestä 100 - 150 cm:stä vuosisadan lopulle tullessa arvoon 50 - 100 cm. Pohjois-Suomen osalta vastaava muutos on nykyisestä 200 - 300 cm:stä arvoon 100 - 200 cm, maaperän koostumuksesta riippuen. Myös talvikuukausina täysin sulan maan, mikä aiheuttaa omat ongelmansa, todennäköisyys kasvaa. Vuosisadan lopulla Etelä-Suomessa maa on joulukuussa yleensä sula ja tammikuussakin routaa esiintyy vain keskimäärin joka toinen talvi. Pohjoisempana sulan maan todennäköisyys pienenee ja Lapissa maa on joulukuussa jässä vielä vuosisadan lopullakin.

Jäätävän sateen tapauksia esiintyy nykyilmastossa vuosien 1961 - 2006 ja koko Suomen keskiarvona noin 8 kertaa vuodessa. Suurin osa, noin 85 %,

tapauksista on tyypiltään jäätävää tihkua ja loput 15 % jäätävää vesisadetta. Kertymät ovat tyypillisesti millimetrin kymmenesosia tai korkeintaan millejä (Gregow et al. 2008). Jäätävien vesisateiden tapauksessa pintalämpötilat ovat välillä -7°C ja $+2^{\circ}\text{C}$, tyypillisimmin nollan tuntumassa. Jäätävien tihkujen osalta pintalämpötilan vaihteluväli on hieman suurempi. Jäätäviä sateita esiintyy syyskuulta toukokuulle, pääosa tapauksista osuu kuitenkin marrasmaaliskuulle. Esiintymismaksimi on yleisesti tammikuussa, tosin se aikaistuu Oulun yläpuolella mitä pohjoisemmaksi mennään. Alueellisia maksimeja löytyy kaksi, ensimmäinen on Etelä-Suomessa Salpausselän tienoilla ja toinen Lapissa Rovaniemen tienoilla. Minimit löytyvät vastaavasti Ahvenanmaalta, Pohjanmaan rannikolta ja Pohjois-Lapista. Tulevaisuudessa jäätävien sateiden odotetaan pääosin vähentyvän (Persson et al. 2007). Alueilla, mukaan lukien Suomi, missä jäätäviä sateita saadaan nykyisin 5 - 15 kpl vuodessa, niiden määrä vähenee yleisesti muutamalla päivällä jo jaksolle 2011 - 2040. Tosin vielä vuosisadan lopullakin jäätäviä sateita odotetaan esiintyvän. Suomen pohjoisosissa on taasen odotettavissa jäätävien sateiden lievää lisääntymistä, kun ilmaston leudontuessa lämpötilat nollan tuntumassa yleistyvät.

Aikaisemmin tarkasteltujen eri jaksojen keskilämpötilojen muutosten lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutusten kannalta keskeisessä roolissa ovat muutokset vuosittaisen lämpötilajakauman eri osissa. Jo pienetkin muutokset keskilämpötilassa vaikuttavat suhteellisen suuresti äärilämpötilojen esiintymiseen. Esimerkiksi hellepäivien (lämpötilan vuorokausimaksimi yli 25°C) lukumäärä on hyvin herkkä maksimilämpötilojen muutokselle (Ruostenoja et al. 2005). Jo $0,5 - 1^{\circ}\text{C}$ nousu lisää hellepäivien määrää 35 - 43 %. Vuosisadan loppuun mennessä hellepäivät yli kaksinkertaistuvat (B1-skenaario) tai jopa nelinkertaistuvat (A2-skenaario). Kesiä luokitellaan myös hellepäivien lukumäärän mukaan, ja jo vajaan asteen lämpenemisen myötä ns. kuumien kesien (yli 25 hellepäivää) osuus muuttuu 1,5-kertaiseksi ja viileiden (alle 10 kpl) osuus vähenee yli 50 %. Vuosisadan puolivälin paikkeilla alkaa esiintyä ns. ennenkuulumattoman kuumia kesiä, jolloin hellepäiviä on yli 40.

Ilmastonmuutos tulee sitä selvemmin esille mitä kauemmas tulevaisuuteen edetään. Muutosta on toki tapahtunut jo nyt, lauhdat talvet yleistyvät ja kylmät talvet harvinaistuvat. Ilmastomme suuresta luontaisesta vaihtelusta parin lähivuosisikymmenen aikana johtuen esiintyy edelleen pakkastalvia, mutta aina vain nykyistä harvemmin. On arvioitu (Räisänen, 2009), että esimerkiksi Etelä-Suomessa vuonna 2008 koetun poikkeuksellisen lämpimän vuoden toistuvuusaika oli 1900-luvun ilmastossa noin 200 vuotta. Kun huomioidaan jo tapahtunut ilmastonmuutos, on toistuvuusaika tällä hetkellä noin 15 vuotta ja kun mennään vuoden 2050 paikkeille, niin joka toinen vuosi olisi yhtä lämmin kuin 2008 oli.

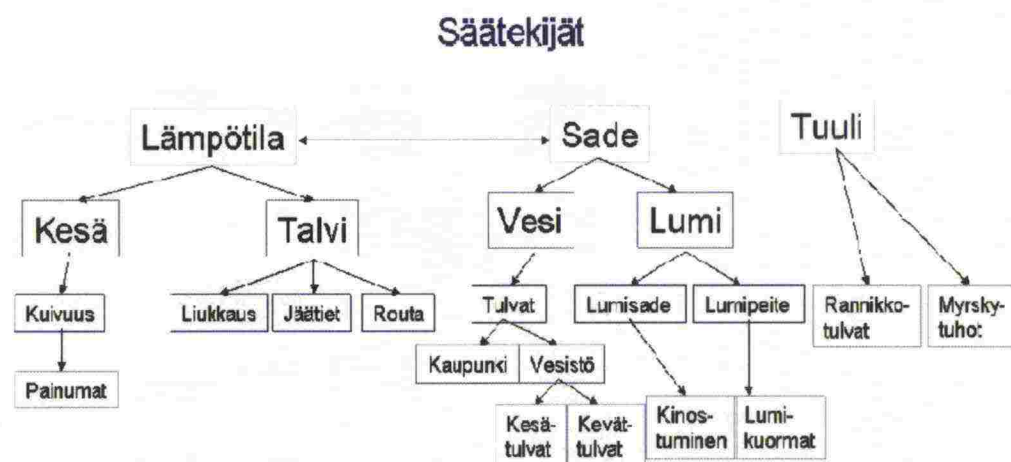
Yhteenvetona voidaan todeta, että

- Elämän maapallolla mahdollistava luonnollinen kasvihuoneilmiö kiihtyy ihmisen toiminnan vaikutuksesta. Tärkein kasvihuonekaasu on hiilidioksidi, jonka merkittävimmät lähteet ovat energian tuotanto ja liikenne.
- Maapallon ilmaston muutoksen suuruutta ja vaikutuksia arvioidaan Hallitustenvälisen Ilmastopaneelin (IPCC) esittämien skenaarioiden avulla. Ilmaston muutoksen vaikutuksia Suomessa arvioidaan näistä A2-, A1B- ja B1-skenaarioiden avulla, pessimistisimmästä optimistisimpaan lueteltuna.
- Ilmaston luonnollinen vaihtelu säilyy jatkossakin. Toteutuva skenaario selviää vasta vuoden 2040 jälkeen, johon saakka eri skenaarioiden mukaiset arvioidut muutokset ovat samaa suuruusluokkaa.
- Vuoteen 2040 mennessä Suomen keskilämpötilan arvioidaan nousevan $> 2^{\circ}\text{C}$ ja sademäärän lisääntyvän 5 - 10 %. Sekä lämpötilan nousu että sademäärän lisäys on suurempaa talvella kuin kesällä. Terminen ja lumipeitteinen talvi lyhenee ja kesän hellepäivien määrä lisääntyy.
- Lämpötilan prosenttiosuus suolausalueella ($+2\ldots-6^{\circ}\text{C}$) kääntyyne laskuun vasta kuluvan vuosisadan puolivälin jälkeen.
- Jäätävät sateet vähenevät Etelä- ja lisääntyvät Pohjois-Suomessa.
- Roudan tunkeutumisvyvyys pienenee merkittävästi vuosisadan loppuun mennessä.
- Muutokset Suomessa ovat samansuuntaisia kuin Keski- ja Pohjois-Ruotsissa, joissa arvioidut tienpidon muutokset ovat suoraan relevantteja myös Suomessa.
- Ilmaston muutos etenee koko ajan ja esimerkiksi lämpimät talvet ovat yleistyneet. Ilmastomme luontaisesta vaihtelusta johtuen tulee lähivuosikymmeninä kuitenkin olemaan vielä myös kylmiä talvia. Mitä kauemmas tulevaisuuteen mennään sitä harvinaisemmiksi nämä kylmät olosuhteet muuttuvat.

3 KIRJALLISUUSSELVITYS ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSISTA TIENPITOON

3.1 Ilmastomuutoksen vaikutukset tienpitoon Pohjoismaissa

Ilmastomuutoksen vaikutuksia tienpitoon on arvioitu tällä vuosikymmenellä useissa koti- ja ulkomaisissa selvityksissä. Niissä päähuomio on kiinnitetty vaikutusmekanismien kuvaamiseen ja vaikutusten suuruuden likimääräiseen kuvailuun. Ilmastomuutoksen vaikutukset jaotellaan usein ilmastotekijöiden mukaan. Kuvassa 9 vaikutusmekanismit on esitetty karkealla tasolla (Saarelainen 2008).



Kuva 9. Ilmastotekijöiden vaikutus tienpitoon ja tien vaurioihin. (Saarelainen 2008)

Pohjoismaiden tieteknisen liiton kunnossapitojaosto (PTL41) on arvioinut ilmastomuutoksesta aiheutuvia riskejä tienpidon näkökulmasta (kuva 10). Tarkastelussa on arvioitu kunkin tekijän kokonaisvaikutusta eri pohjoismaissa. Arvio perustuu ilmastomuutoksesta aiheutuvan muutoksen tai tapahtuman seuraamuksiin ja sen todennäköisyyteen. Tapahtuman todennäköisyyttä arvioitaessa on kiinnitetty huomio tapahtuman esiintymistiheyden (tulvat, sortumat) muutoksiin tai pysyviin muutoksiin olosuhteissa (leudommat talvet, lisääntyneet sateet). Tapahtuman seurauksia arvioitaessa on otettu huomioon sekä tienpitäjän että tien käyttäjien kustannukset. Tapahtumien todennäköisyyksien ja seuraamusten perusteella kokonaisvaikutukset on jaettu kolmeen luokkaan:

- Luokka 1. Positiivinen tai vain hiukan haitallinen vaikutus
- Luokka 2. Haitallinen vaikutus
- Luokka 3. Erittäin haitallinen vaikutus

Pohjoismaissa ilmastomuutoksesta PTL:n kunnossapitojaosto (PTL41) on arvioinut suurimmat vaikutukset tienpitoon koituvan Norjassa. Suurimmat haitat aiheutuvat seuraavista syistä ja ilmiöistä:

- Suuret sortumat
- Virtaavien vesien hävittämät sillat
- Tulviminen
- Betonirakenteiden vaurioituminen
- Talvikunnossapidon vaikeutuminen
- Kallioleikkauksista putoavat kivet

Myös Ruotsissa ja Suomessa vaikutusten on arvioitu olevan huomattavia ja tienpidon vaikeutuvan useilla eri osa-alueilla. Ruotsin ja Suomen vaikutusten on arvioitu poikkeavan toisistaan lähinnä siinä, että Ruotsissa tulee esiintymään Suomea enemmän sortumia ja kaatuneiden puiden tukkimia teitä. Myös viime vuosien havainnot tukevat tätä arviota.

Påverkan av klimatförändringar och extrema väderhändelser	Sverige	Norge	Finland	Danmark	Island	Färöarna
Förändring av nederbörd och flöden						
Större skred och ras						
Bortspolad väg och bro						
Oversvämningar						
Förändringar av temperatur						
Slitage på beläggningar						
Nedbrytning av vägoverbyggnad						
Vintertransporter på tjälad väg						
Nedbrytning av betongkonstruktioner						
Nedslusning av broar						
Temperaturpåverkan på broar						
Vinterväghållning						
Stensprängning						
Förändring av vindhastigheter						
Stora broar och andra utsatta ställen						
Stora mängder träd över vägar						
Stängning av högfjällsvägar						
Förändring av havsvattennivåer						
Tunnlar						
Vägar						
Färelägen						

Kuva 10. Ilmastomuutoksen suhteelliset vaikutukset eri Pohjoismaissa (NVF 2008).

PTL:n selvityksen mukaan suhteellisesti suurimmat haitat Suomelle koituu siitä, että tulevaisuudessa jäätyneen maan kantokykyä ei pystytä tulevaisuudessa hyödyntämään samassa määrin kuin aiemmin on tehty erityisesti metsäteollisuuden kuljetusten osalta.

Muita haitallisia vaikutuksia aiheutuu mm seuraavista tekijöistä: (NVF 2008):

1. Teiden päällysrakenteiden vaurioituminen
2. Päällysteiden kuluminen
3. Talvikunnossapidon vaikeutuminen
4. Betonirakenteiden vaurioituminen
5. Virtaavien vesien hävittämät tiepenkereet ja sillat
6. Tulviminen

3.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset tienpidon kustannuksiin

Ilmastonmuutoksen kustannusvaikutuksista tienpitoon on kirjallisuudessa esitetty yleensä vain suuntaa antavia ja suhteellisia arvioita. Ilmastonmuutoksen taloudelliset vaikutukset voidaan jakaa seuraaviin osiin (Saarelainen & Makkonen 2007):

- Ennakointi ja varautuminen.
- Välittömät korjaukset ja suojaukset.
- Liikenteelle aiheutuneet häiriöt.
- Arvonalennus (käyttöiän lyheneminen, piilevä korjaustarve, lisääntynyt ylläpitotarve).

Normaalissa kielenkäytössä vauriokustannuksina pidetään vain välittömiä kustannuksia. Liikenteessä keskeytyksen aiheuttama haitta jakautuu laajalle, eikä haitan kohdetta voida tunnistaa. Käyttöiän osalta tien elinkaariominaisuudet eivät ole niin hyvin tiedossa, että piileviä, hitaasti kehittyviä vaurioita voitaisiin teknistaloudellisesti arvioida. Perustienpidon vuosibudjettiin sisältyy tietty varautuminen poikkeuksellisiin tilanteisiin. Tämä on osoittautunut riittäväksi "normaalivuosina". Poikkeustilanteissa on korjaustoimintaan tarvittu lisää resursseja. (Saarelainen & Makkonen 2007)

Yksityiskohtaisimmin kustannusvaikutuksia on käsitelty Ruotsin tiehallinnon laatimassa selvityksessä "Vägverkets rapport till Klimat och sårbarhetsutredningen – gruppen transporter" (Nordlander et al. 2007). Ilmastonmuutokseen liittyvistä vauriokustannuksista ja tienpidon kustannusten muutoksista on raportissa esitetty seuraavat arviot:

Tulviminen: Ruotsissa on jo esiintynyt paljon runsaasti sateisiin ja suuriin virtaamiin liittyviä vaurioita. Eroosion, tulvien ja poishuuhtoutumisten vauriokustannukset ovat olleen noin 65 Mkr/v. Ilman erityistoimia vuosittaisten vauriokustannusten arvioidaan lisääntyvän niin, että vuosien 2070 - 2100 taso on 50 - 150 Mkr/v korkeampi kuin nyt.

Sortumat: Sortumien vauriokustannukset ovat olleet noin 15 Mkr/v. Ilman erityistoimia niiden arvioidaan lisääntyvän niin, että vuosien 2070 - 2100 taso 20 - 50 Mkr/v korkeampi kuin nyt.

Tulvimis- ja sortumakustannuksissa eivät ole mukana pienet vauriot, jotka hoidetaan normaalein hoito- ja kunnossapitotoimin.

Teiden **päällysrakenteiden** ylläpitotarpeen arvioidaan vähenevän Ruotsissa hieman nykyisestä. Tämä johtuu ensisijaisesti nastarenkaiden käytön vähenemisestä ja vähäisemmästä routimisesta. Kokonaisarvion tekemisen myönnetään olevan vaikeaa, koska toisaalta on tekijöitä, mm. kohoavat lämpötilat kesällä ja lisääntyvät sateet kesällä, jotka lisäävät päällysrakenteiden deformaatioita ja ylläpitotarvetta.

Talvihoidossa Ruotsin kustannusten arvioidaan pysyvän muuttumattomina, mutta talvihoidon painopiste siirtyy pohjoisemmaksi eli talvihoidon suoritemäärät vähenevät etelässä ja lisääntyvät pohjoisessa.

Ruotsin **siltojen** vedenvälityskapasiteetin ja alapinnan korkeuden arvioidaan olevan osittain liian pieniä, mistä aiheutuu uusimistarvetta. Toisaalta betonisiltojen ylläpitokustannusten arvioidaan pienenevän koska siltoja rapauttavat 0-asteen ylityskerrat vähenevät.

3.3 Ruotsin varautuminen ilmastonmuutokseen tienpidossa

Sekä kotimaisessa että ruotsalaisessa kirjallisuudessa ilmastonmuutoksen ehdotetaan varauduttavan samansuuntaisesti. Yksityiskohtaisimmat suositukset ja arviot niiden kustannuksista on esitetty Ruotsin tiehallinnon raportissa (Nordlander et al. 2007).

Tärkeimpiä varautumistoimenpiteitä ovat ruotsalaisen selvityksen mukaan:

- Sortumien ja teiden poishuuhtoutumisten estäminen (tärkein suositus).
- Sortuma- tai tulvariskin omaavien vaurioherkkien tieosien inventointi.
- Sortumariskien parempi huomiointi suunnittelussa ja rakentamisessa.
- Uusilla hankkeilla teiden ja siltojen korkeusasema on harkittava uudelleen suhteessa vesiväylien vedenpinnan korkeuksiin.
- Kuivatussuunnittelun ohjeet on arvioitava uudelleen.

Näiden lisäksi ruotsalaisessa selvityksessä suositellaan seuraavia toimenpiteitä:

1. Ilmastotietojen jatkuva analysointi
2. Tietokantojen luominen geoteknisille ja hydrologisille tiedoille ja tutkimuksille
3. Tietokannan luominen vesistöjen korkeustiedoille
4. Ilmasto-osaamisen hankkiminen Tiehallintoon
5. Ohjeistojen kaiken kattava uusiminen
6. Tutkimus- ja kehitystarpeen selvittäminen

Toimenpiteiden 4. - 6. kertaluonteisten kustannusten arvioidaan olevan 65 Mkr ja vuosittaisten kustannusten 6 Mkr.

Yhteenveto Ruotsissa arvioiduista vaurioitumis- ja varautumiskustannuksista on esitetty taulukossa 1. Suomessa vastaavat vaurio- ja varautumiskustannukset tulevat olemaan selvästi pienemmät johtuen erilaisista maaperäolosuhteista ja jokien topografiasta. Valtaosa Ruotsin maanvyörymistä on tapahtunut Länsi-Ruotsin suolaiseen veteen kerrostuneilla savikoilla, missä jokiuomien ja rinteiden luontainen vakavuus on erittäin pieni. Vastaavaa maaperätyyppiä ei esiinny Suomessa juuri lainkaan. Ruotsin joet omaavat Suomen jokiin verrattuna suuremman gradientin ja suuremmat virtaamat, minkä johdosta ne aiheuttavat paljon tulvimista ja tiepenkereiden ja siltojen poishuuhtoutumisia.

Taulukko 1. Arvioitu eroosio-, tulva-, vyörymä- ja sortumavahinkojen kustannusten kasvu sekä ehkäisevien toimenpiteiden kustannukset Ruotsissa. Summaan eivät sisälly pienempien eroosio-, tulva-, vyörymä- tai sortumavahinkojen kustannuksia, jotka sisältyvät normaaliin hoitoon ja ylläpitoon. (Nordlander 2008)

Vauriotyyppi	Ehkäisevät toimenpiteet lyhyellä tähtäimellä	Ehkäisevät toimenpiteet pitkällä tähtäimellä	Vauriokustannusten nousu pitkällä tähtäimellä (ilman toimenpiteitä)
Suuret eroosio- ja tulvavahingot (nyk. vauriokustannus n. 65 Msek/år)	150-500 Msek	Kokonaisuudessaan 1000-2000 Msek, ehkäisevät toimenpiteet suurimpiin eroosio- ja tulvavahinkoihin sekä maanvyöryihin ja sortumiin	50-150 Msek/år
Maanvyöryt ja sortumat (nyk. vauriokustannus n. 15 Msek/år)	>200 Msek		20-50 Mkr/år
Suuret maanvyöryt (nykyisin satunnaisia)			Suurien maanvyörymien ja sortumien lisääntyminen
Säätöolosuhteiden ennenaikainen vaihtaminen		720 Mkr vuosina 2011 - 2100	

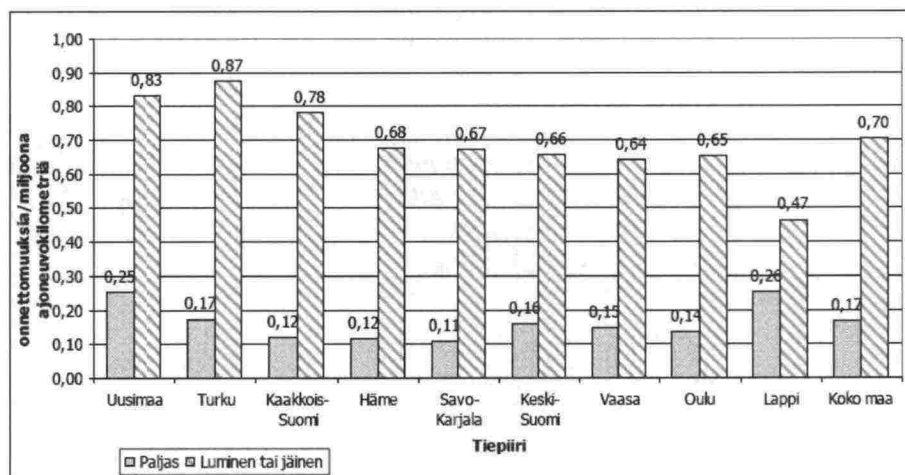
3.4 Keliolosuhteiden vaikutus liikenneturvallisuuteen

Talvikelien vaikutuksesta onnettomuusriskiin on tehty runsaasti tutkimuksia. Tuoreessa selvityksessä (Salli et al. 2008) on koottu aikaisempien tutkimusten tuloksia ja tehty riskitarkastelu vuosien 2004 - 06 onnettomuustietojen perusteella. Sen mukaan onnettomuusriski jäisillä ja lumisilla keleillä on selvästi suurempi kuin tienpinnan ollessa paljas, noin 4,1-kertainen.

Keskeinen havainto niin aikaisemmissa kuin tässä tutkimuksissa on se, että mitä harvinaisempia vaativat talvikelit ovat, sitä suurempi onnettomuusriski niihin sisältyy. Tämä perustuu talvikelien yllätyksellisyyteen. On todettu, että onnettomuusriski talvikelillä on suurempi niin alkutalvella kuin lopputalvella verrattuna keskitalveen. Samaten lumisten ja jäisten kielten onnettomuusaste ja erityisesti riski suhteessa paljaaseen tiehen on suurempi Etelä-Suomessa kuin Pohjois-Suomessa (kuva 11).

Talvien leudontumisen myötä liikenteestä entistä suurempi osa tapahtuu paljaalla tiepinnalla. Toisaalta Keski- ja Pohjois-Suomessa yleistyvät nollakelit kasvattavat todella liukkaiden kielten osuutta. Etelä-Suomessa talvikelien harvinaistuminen lisää niiden yllätyksellisyyttä ja onnettomuusriskiä.

Ruotsissa on talvien lämpenemisen vuoksi luovuttu kalenteriin sidotusta talvirengaspakosta, joskin autoilijoilta edellytetään keliin sopivia renkaita. Suomessakin on ollut esillä talvirengaspakon lieventäminen, mutta turvallisuussyistä tällaista muutosta ei lähitulevaisuudesta ole tulossa.



Kuva 11. Liikennevahinkoon johtavien onnettomuuksien riski tienpinnan tilan mukaan tiepiireittäin. Aineistona liikennevahinkoon johtaneet korvatut vahingot talvikausina 2003 - 2006. (Salli et al. 2008).

Yhteenvedona voidaan todeta, että:

- Ilmaston muutokset vaikuttavat säätekijöiden (lämpötila, sade, tuuli) kautta tiestön kuntoon sekä hoito- ja ylläpitotarpeeseen.
- Pohjoismaissa ilmastomuutoksen vaikutukset tienpitoon ovat kaikkein haitallisimpia Norjassa. Myös Ruotsissa ilmastomuutoksen vaikutukset tienpitoon ovat Suomea suurempia.
- Suhteellisesti suurimmat haitat Suomelle koituu siitä, että jäätyneen maan kantokykyä ei pystytä tulevaisuudessa hyödyntämään samassa määrin kuin aiemmin on tehty erityisesti metsäteollisuuden kuljetusten osalta.
- Yksityiskohtaisimmat suositukset ja arviot varautumisen kustannuksista on esitetty Ruotsin tiehallinnon raportissa. Suositukset liittyvät mm. sortumien estämiseen, kuivatukseen ja väylien korkeusasemaan. Lisäksi suositellaan ryhtymistä sää- ja ilmasto- sekä geoteknisten ja hydrologisten tietojen systemaattiseen keräämiseen ja analysointiin.
- Onnettomuusriski jäisillä ja lumisilla keleillä on 4,1-kertainen paljaaseen tienpintaan verrattuna. Onnettomuusriski kasvaa vaativien talvikelien harvinaistuessa ja muuttuessa siten yllätyksellisiksi.

4 VUOSIEN 2006–2008 VAIKUTUSTEN ANALYSOINTI

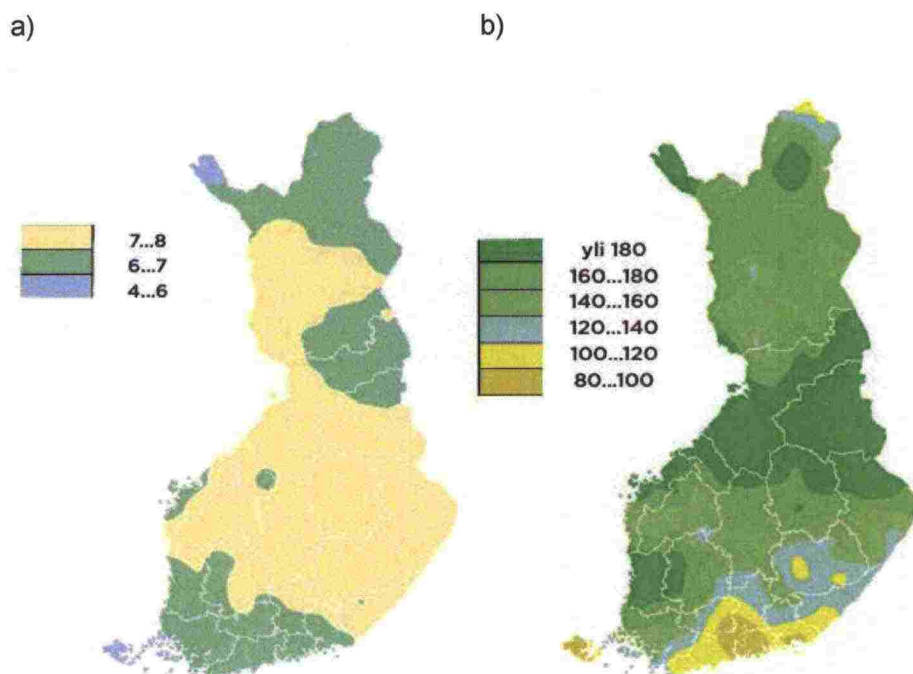
4.1 Vuosien 2006–2008 erot aikaisempiin vuosiin

Talvet 2006 - 2007 ja 2007 - 2008 olivat monin tavoin varsin erikoislaatuista, pääasiassa harvinaisen korkeiden lämpötilojen takia. Talvista jälkimmäisen sydäntalvi (joulu - helmikuu) oli lähes koko maassa lämpimin sitten 1900-luvun alun. Talvi 2006 - 2007 ei sen sijaan ollut kokonaisuudessaan erityisen lämmin, vaan se jakautui hyvin lauhaan alkutalveen ja kylmään lopputalveen. Lauhan sään pääasiallisena syynä olivat harvinaisen samantyyppisenä pysyneet ilmakehän virtaukset. Talven 2007 - 2008 aikana ilmavirtaukset tulivat Suomeen suurimman osan talvea etelästä ja lounaasta, ja joita mm. Atlantin keskimääräistä korkeampi meriveden pintalämpötila lämmitti. Myös ilmaston globaalilla lämpenemisellä on oma osuutensa, sillä karkean arvion mukaan ilmastonmuutoksen tuoma lisä talven lämpötiloihin on runsas aste. Seuraavaksi tarkastellaan hieman tarkemmin näiden talvien sääolojen poikkeavuutta verrattuna pitkän ajan keskiarvoihin. Tiedot perustuvat Ilmatieteen laitoksen julkaisemaan kuukausittaiseen Ilmastokatsaus-lehteen.

Syksy 2006, syyskuusta marraskuuhun, oli maan länsiosassa runsaat 2 °C ja itäosassa 1-2 °C tavanomaista lämpimämpi. Keskilämpötilaa laski kylmä marraskuun alku. Marraskuun jälkimmäinen puolisko oli puolestaan poikkeuksellisen lämmin. Etenkin lokakuun runsaat sateet kasvattivat syksyn sadekertymät suuressa osaa maata 1,2...1,5-kertaisiksi pitkän ajan keskiarvoihin nähden.

Talvi 2006 - 2007 (joulu-helmikuu) oli kokonaisuudessaan maassamme vain noin 1 °C tavanomaista lämpimämpi. Lämpöolot talven eri vaiheissa olivat kuitenkin varsin erilaiset. Alkutalvi oli huomattavasti tavanomaista leudompaa, kun taas lopputalvesta koettiin ajoittain kireitäkin pakkasia. Kaksijakoisuus päti myös talven sateille. Alkutalvesta sateita tuli runsaasti, Etelä- ja Keski-Suomessa paljolti vetenä, kun taas lopputalven sateet jäivät niukoiksi. Kaksijakoisuuden taustalla oli virtaustyyppiltään selvästi erilaiset alku- ja lopputalvi.

Etelä- ja Keski-Suomessa saavutettiin monin paikoin uusia joulukuun lämpöennätyksiä. Keskilämpötilat olivat koko maassa 6 - 8 °C vertailukauden 1971 - 2000 keskiarvoa korkeammat (kuva 12a). Maan eteläosassa tämä poikkeama oli asteen suurempi kuin koskaan aikaisemmin mittausten ajalta. Sademäärien osalta joulukuun lukemat olivat paikoin yli kaksinkertaiset tavanomaiseen nähden (kuva 12b). Maan lounaisosassa sekä Pohjois-Karjalassa ja Kainuussa satoi paikoin reilusti yli 100 mm, aiheuttaen paikoin uusia joulukuun ennätyksiä. Tammikuun keskilämpötilat olivat laajalti 2 - 3 °C tavanomaista leudompaa, ainoastaan Keski- ja Pohjois-Lapissa lämpötilat olivat tyypillisiä. Tammikuu oli sateinen koko maassa, Etelä- ja Länsi-Suomessa sademäärät olivat paikoin yli kaksinkertaisia. Helmikuu oli puolestaan kylmä, keskilämpötilat olivat 3 - 7 °C tavanomaista kylmempiä.



Kuva 12. a) joulukuun keskilämpötilan (°C) poikkeama ja b) sademäärä prosentteina vertailukauden 1971-2000 keskiarvosta.

Kevään 2007 (maalis - toukokuu) erikoisuus oli suuressa osassa maata ennätyslauha maaliskuun, ollen keskilämpötilaltaan 3 - 5,5 °C tavanomaista lämpimämpi, poikkeaman ollessa maan itäosassa voimakkaampi. Myös kaikkien aikojen korkein maaliskuussa mitattu lämpötila ylittyi reilulla asteella, kun Helsinki-Vantaan lentokentällä saavutettiin 17,5 °C. Maaliskuun sateet vaihtelivat, vähiten satoi maan keskiosassa ja Pohjois-Lapissa (noin 60 - 80 % tavanomaisesta), kun taasen Oulun läänissä ja Etelä-Lapissa sadetta kertyi paikoin jopa kaksinkertaisesti tavanomaiseen nähden.

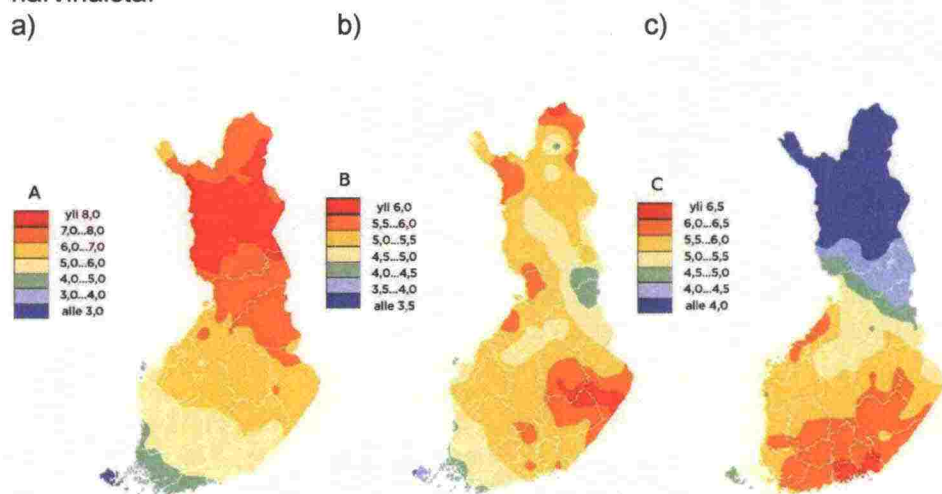
Kesä 2007 oli lämpimän elokuun, mikä oli suuressa osassa maata kesän lämpimin kuukausi, ansiosta 0,5 - 1,5 °C tavanomaista lämpimämpi. Kesän sademäärät jakautuivat hyvin epätasaisesti ero puolilla maata. Joillakin alueilla satoi yli 300 mm, kun normaalikesänä sisämaan sadesumma jää 180 - 230 mm:iin. Toisaalta Varsinais-Suomen ja Satakunnan rajamailla sekä osissa Pirkanmaata ja Keski-Suomea sateet jäivät hieman tavanomaista vähäisemmiksi. Hyvinkin rankkoja sateita, joissa muutamassa tunnissa vettä saatiin vähintään 20 mm, koettiin etenkin heinäkuussa useina päivinä eri puolilla Suomea.

Syksy 2007 oli pääpiirteissään varsin tyypillinen. Syyskuussa saatiin runsaita sateita Itä-Suomessa. Lokakuun viimeinen viikko oli ajankohtaan nähden lauha, varsinkin Lapissa esiintyi poikkeuksellisen korkeita lämpötiloja. Marraskuu oli säätilastojen valossa hyvinkin tavanomainen.

Talvi 2007 - 2008 oli keskilämpötilaltaan lähes koko maassa korkein sitten 1900-luvun alun. Koko jakson (joulu - helmikuu) keskilämpötila oli jopa 4 - 6,5 °C korkeampi kuin vertailujakson 1971 - 2000 keskiarvo. Keskilämpötilat olivat maan etelä- ja keskiosassa 1,5 °C ja -4 °C välillä, maan pohjoisosassa puolestaan -3 °C ja -8 °C välillä. Talvipäiviä, eli päiviä jolloin vuorokauden

keskilämpötila on nollan alapuolella, oli koko maassa keskimääräistä vähemmän. Erityisesti Etelä- ja Lounais-Suomessa talvipäivien lukumäärä jäi alle puoleen vuosien 1971 - 2000 keskiarvosta. Talvi oli paikoin myös poikkeuksellisen sateinen ja sen aikana koko maassa satoi keskimääräistä enemmän. Myös vesi- ja räntäsadepäiviä oli selvästi tavanomaista enemmän. Jakson lopussa maa oli edelleen paikoin lumeton maan etelä- ja lounaisosassa, toisaalta Oulun läänin itäosassa ja Pohjois-Karjalan pohjoisosissa lumipeite oli tavanomainen, paikoin jopa paksumpi. Lumipeitepäiviä oli jouluihelmikuun aikana Etelä- ja Lounais-Suomessa vain noin 20 - 30, kun niitä tavanomaisesti on yli 70. Maan keskiosassakin lumipeitepäiviä oli vain noin 50 - 60.

Joulukuu oli harvinaisen leuto etenkin Lapissa (kuva 13a), missä tehtiin paikkakuntakohtaisia joulukuun lämpötilaennätyksiä, esimerkiksi Inarin 7,4 °C. Tammikuu oli yleisesti lauha (kuva 13b) ja sateinen. Helmikuussa talvi jatkui lauhana (kuva 13c), mutta varsin vaihtelevana. Myös alueelliset erot olivat helmikuussa huomattavia. 24.2 saavutettiin maassamme sekä helmikuun alin että ylin lämpötila, -33,7 °C Kittilässä ja 9,7 °C Ahvenanmaalla. Näin suuri lämpötilaero maamme eri osien välillä on hyvin harvinaista.



Kuva 13. Kuukauden keskilämpötilan poikkeama (°C) vertailukauden 1971 - 2000 keskiarvosta a) joulukuussa, b) tammikuussa ja c) helmikuussa.

Ennätyslauhan sydäntalven johdosta maaliskuu oli paikoin talven kylmin kuukausi, tosin ei juurikaan tavanomaisesta poikkeava. Huhtikuu oli puolestaan lämmin ja sateinen. Maan keskiosassa esiintyi osittain jäätävää sadetta, mikä on vuodenaikaan nähden harvinaista. Lämpötilan vuorokausivaihtelu oli huhtikuun puolivälissä suurta, sillä öisin esiintyi pakkasia eteläisintä Suomea myöten, päivälämpötilojen ollessa 10 - 15 °C korkeampia. Toukokuun säille oli tyypillistä etelän ja lännen vähäsateisuuden lisäksi hallat ja yöpakkaset, jotka jatkuivat pitkin kuukautta maan eteläosissa asti selvästi tavanomaista runsaampina.

Yhteenvetona voidaan todeta, että talvi 2006 - 2007 jakautui hyvin lauhaan alkutalveen ja kylmään lopputalveen. Kevään 2007 (maalis - toukokuu) erikoisuus oli suuressa osassa maata ennätyslauha maaliskuu. Kesä 2007 oli lämpimän elokuun ansiosta tavanomaista lämpimämpi. Kesän sademäärät

jakautuivat hyvin epätasaisesti ero puolilla maata. Syksy 2007 oli pääpiirteissään varsin tyypillinen. Sydäntalvi 2007 - 2008 (jouluku - helmikuu) oli lähes koko maassa lämpimin sitten 1900-luvun alun. Talvi oli paikoin myös poikkeuksellisen sateinen ja sen aikana koko maassa satoi keskimääräistä enemmän. Myös alueelliset erot olivat helmikuussa huomattavia.

4.2 Talvikeli muuttuminen

Talvikeli muuttumista on tarkasteltu talvihoidon laadunseurannan (TALLA) aineiston perusteella. Tätä selvitystä varten saatiin käyttöön kolmen talvikauden mittaustulokset vuosilta 2005 - 2008. Talvikaudella 2004 - 2005 ei valtakunnallista mittausa tehty eikä tätä aiempia mittaustuloksia ole saatavissa käyttöön.

4.2.1 Yleistä

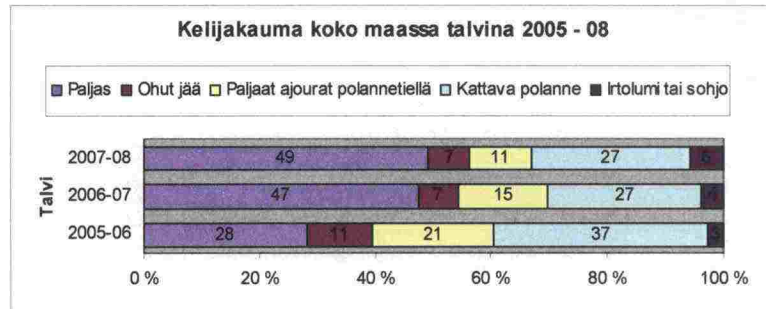
Talvihoidon laadunseurannan tavoitteena on saada tietoa tiestöllä vallinneesta kelistä tienkäyttäjän näkökulmasta. Talvihoidon laadunseuranta tehdään talvikausittain jouluku - maaliskuun välisenä aikana. Talvihoidon laadunseurannassa mitattavat tekijät ovat liukkaudesta eli kitka, lumisuus, tasaisuus, kelikoodi eli visuaalinen ajokelin arviointi sekä ilman ja tienpinnan lämpötila.

Mittaukset tapahtuvat erityisesti tätä varten varustellulla mittausautolla. Mittausten määrä on mitoitettu siten, että tiedot antavat tilastollisesti pätevän tiedon koko talviajan kunkin hoitoluokan talvilaadusta yhden tiepiirin alueella. Tiellä vallitseva ajokeli havaitaan visuaalisesti käyttäen kahdeksaa kelikoodia (kelikoodin havainnekuvat liitteenä 1). Tätä selvitystä varten kelikuvaukset on tiivistetty viiteen luokkaan:

1. Tie on paljas (kuiva, kostea tai märkä) koko ajokaistan osalta.
2. Paljaan näköisellä päällysteellä on liukkautta (ohut jää, kuura, huurre, liukkautta aiheuttava lumipöly jne.).
3. Tiellä on polanteessa paljaat ajourat.
4. Koko ajokaista on lumi- tai jääpolanteen peitossa.
5. Tiellä irtolunta tai sohjoa valleina tai kauttaaltaan, haittaa liikennettä.

4.2.2 Ajokelit talvikausina 2005 - 2008

Koko maassa kaikilla mitatuilla teillä paljaiden tienpintojen osuus on talvikausina 2006 - 2008 ollut huomattavasti suurempi kuin talvella 2005 - 2006 (kuva 14). Talvikausina 2006 - 2008 paljaiden tai paljaan näköisten, mutta liukkaiden teiden osuus on ollut yli puolet tiestöstä, kun talvikautena 2005 - 2006 tällaisia teitä on ollut 39 %. Osittain tai kokonaan polanteisten teiden osuus on vastaavasti vähentynyt noin 60 %:sta noin 40 %:iin.



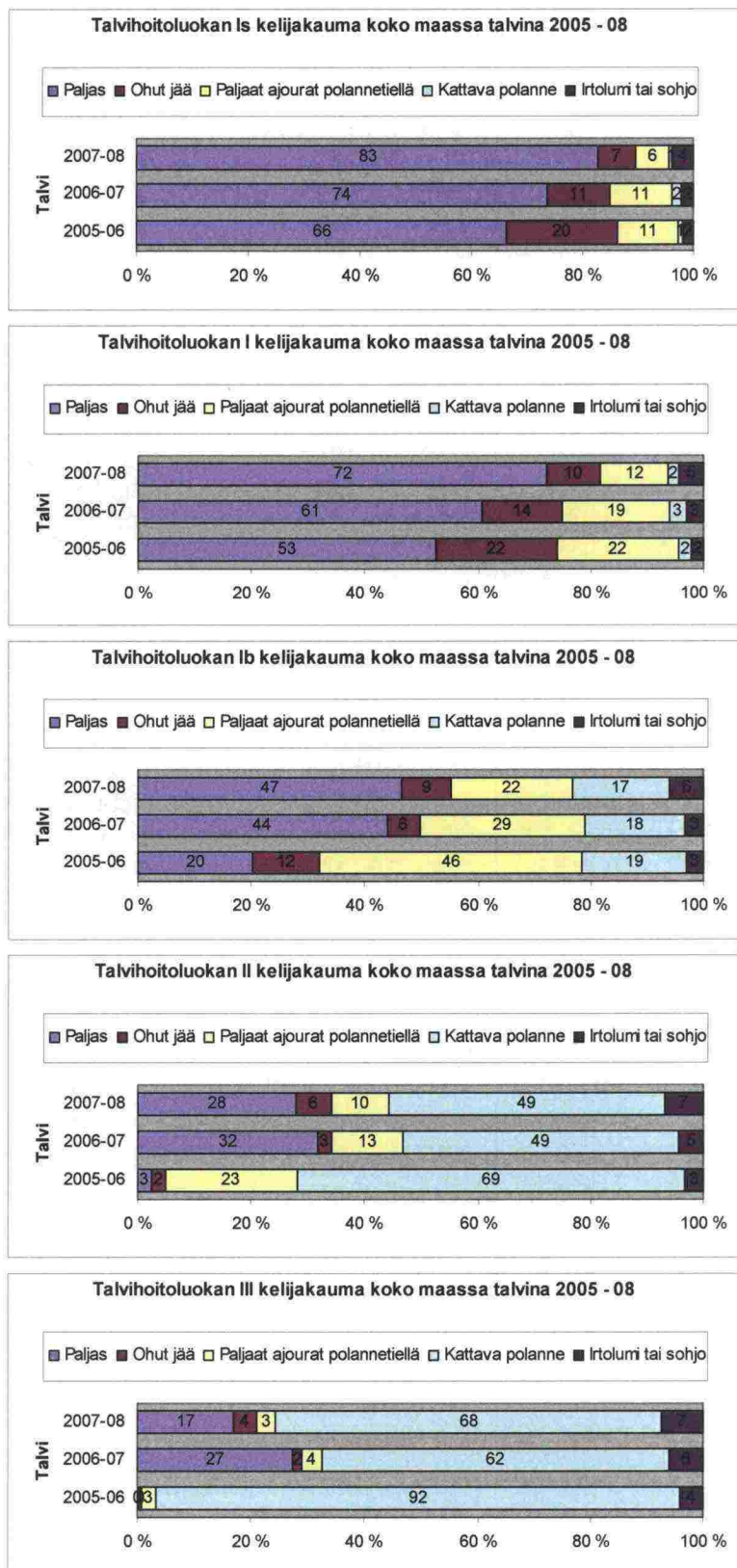
Kuva 14. Koko maan talvikelien jakauma talvikausina 2005 - 2008 talvihoidon laatu-seurannan mukaan.

Vaihtelut talvihoitoluokittain ovat suuria (kuva 15). Talvihoitoluokan I_s teistä 85 - 90 % on ollut paljaita eikä polanneteitä esiinny juuri lainkaan. Toisessa ääripäässä talvihoitoluokan III teistä talvikaudella 2005 - 2006 on 95 % ja talvikausina 2006 - 2008 noin 70 % on ollut polanteisia.

Talvihoidon toimintapolitiikan kannalta merkille pantavaa on paljaiden tienpintojen yleistyminen talvihoitoluokassa I_b, jossa niiden osuus talvina 2006 - 2008 on ollut 50 - 55 %. Myös talvihoitoluokissa II ja III paljaiden kelien osuus on noussut 20 - 35 %:iin.

Ajokelien jakauma tiepiireittäin on esitetty liitteessä 2. Tilanne eri tiepiireissä on kovin erilainen. Uudenmaan ja Turun tiepiireissä 70 - 80 % teistä on ollut talvina 2006 - 2008 paljaita. Lapin tiepiirissä paljaiden teiden osuus on ollut 15 - 25 % pääosan teistä ollessa polanteisia. Toisin kuin muualla maassa Lapissa talvikausina 2006 - 2008 paljaiden kelien osuus on ollut pienempi kuin talvella 2005 - 2006.

Talvihoidon laadunseurannan tulosten osalta on syytä ottaa huomioon, että havaintojen lukumäärä painottuu tiepituuteen verrattuna hieman pääteiden suuntaan. Muutokset eri vuosien välillä ovat kuitenkin hyvin vertailukelpoisia, koska kunakin vuonna mitataan jotakuinkin samat tiet. Koska liikennesuorite painottuu pääteille ja siten ylemmille talvihoitoluokille, liikenteestä huomattavasti suurempi osa ajetaan paljailla teillä kuin tässä esitetyt tiepituuden mukaiset kelijakaumat.



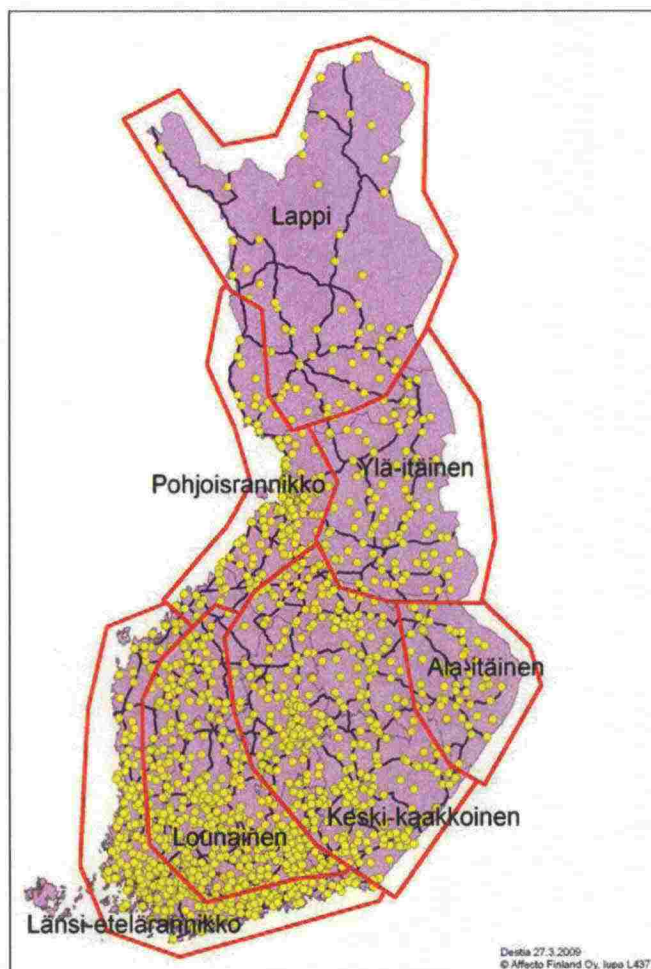
Kuva 15. Koko maan talvikeliäen jakauma eri talvihoitoluokissa talvikausina 2005 - 2008 talvihoidon laatuseurannan mukaan.

Yhteenvetona voidaan todeta, että paljaiden tienpintojen osuus on talvikausina 2006 - 2008 ollut huomattavasti suurempi kuin talvella 2005 - 2006. Vaihtelut talvihoitoluokittain ja tiepiireittäin ovat suuria. Paljaat tienpinnat ovat yleistyneet erityisesti talvihoitoluokassa Ib.

4.3 Talvihoito

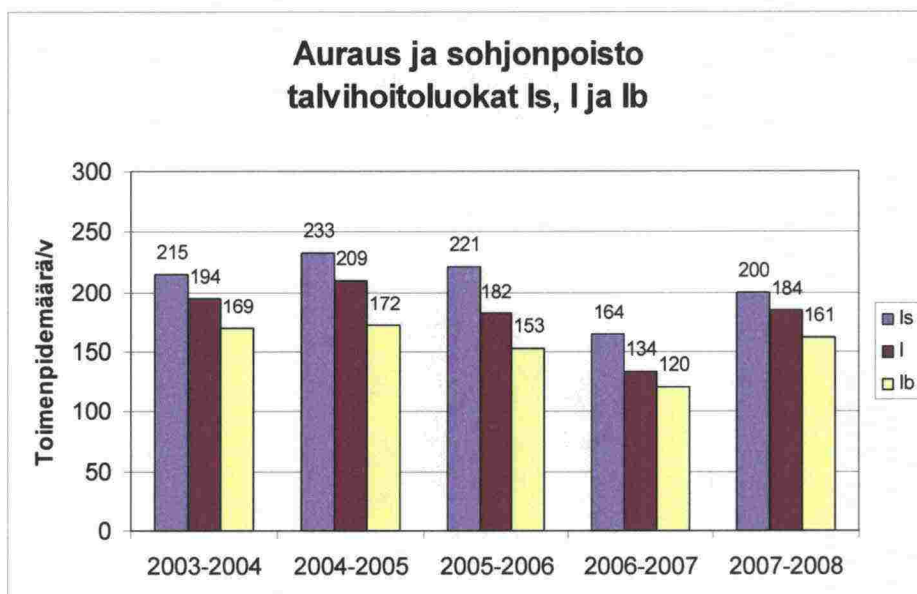
4.3.1 Talvihoidon toimenpidemäärät

Pääosa, noin 90 %, talvihoidon kustannuksista muodostuu lumenpoistosta ja liukkaudentorjunnasta. Seuraavassa on tarkasteltu aurauksen ja sohjonpoiston sekä suolauksen ja linjahiekoituksen toimenpidemääriä viiden talven aikana vuosina 2003 - 2008 alueurakoiden seurantajärjestelmän (AURA) toimenpidetietojen perusteella. Tarkastelu on tehty yksiajorataisilla maanteillä, ilmastoalueittain ja talvihoitoluokittain. Ilmastoaluejako ja AURA-seurantapisteen käyvät ilmi kuvasta 16.



Kuva 16. Ilmastoaluejako ja alueurakoiden seurantajärjestelmän (AURA) pisteet.

Kuvassa 17 on esitetty yhteenveto kolmen korkeimman talvihoitoluokan teiden aurauksen ja sohjonpoiston keskimääräisistä toimenpidemääristä. Lumenpoistoa on tehty eniten talvella 2004 - 2005 ja vähiten talvella 2006 - 2007. Erityistarkastelussa olevien talvien 2006 - 2008 aikana lumenpoistoa on tarvittu vähemmän erityisesti länsi- ja etelärannikolla. Vähälumisena talvena 2006 - 2007 lumenpoistoa tehtiin aikaisempaa vähemmän myös keskisessä Suomessa. Lapissa ja Koillismaalla lumenpoiston tarve 2006 - 2008 ei eronnut aikaisemmista talvista. Aurauksen ja sohjonpoiston toimenpidemäärät ilmastoalueittain ja hoitoluokittain on esitetty liitteessä 3.



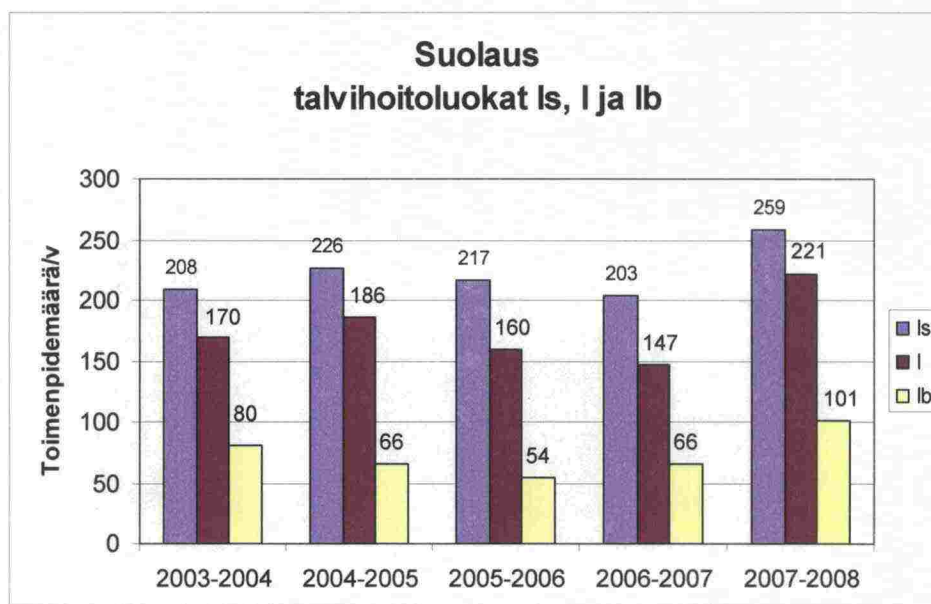
Kuva 17. Aurauksen ja sohjonpoiston keskimääräiset toimenpidemäärät yksiajoraisilla teillä kolmessa korkeimmassa talvihoitoluokassa 2003 - 2008.

Liukkaus torjutaan pääsääntöisesti ennakoivilla toimenpiteillä suolaamalla talvihoitoluokissa ls ja I. Talvihoitoluokan lb teillä suolaa käytetään ainoastaan syys- ja kevätliukkailla ja erityisissä ongelmatilanteissa. Alemmalla tieverkolla liukkauden torjuntaan käytetään hiekkaa.

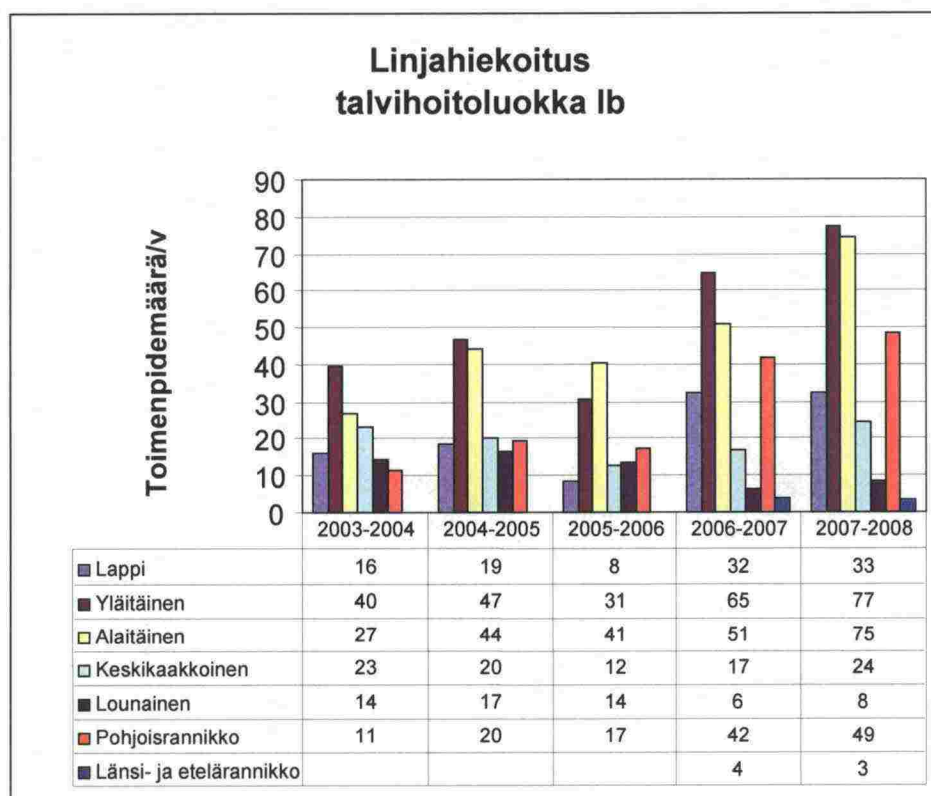
Kuvassa 18 on esitetty yhteenveto kolmen korkeimman talvihoitoluokan teiden suolauksen keskimääräisistä toimenpidemääristä. Suolauskertoja on tarvittu eniten talvella 2007 - 2008 ja vähiten 2006 - 2007. Talvella 2007 - 2008 suolaus on ollut runsasta erityisesti sisämaassa ja pohjoisrannikolla, mutta länsi- ja etelärannikolla suolausta ei ole tarvittu aikaisempia vuosia enempää. Toimenpidemäärät ilmastoalueittain ja hoitoluokittain on esitetty liitteessä 4.

Kuvassa 19 on esitetty yhteenveto linjahiekoituksen toimenpidemääristä ilmastoalueittain lb-talvihoitoluokan teillä. Talvina 2006 - 2007 ja 2007 - 2008 hiekoitustoimenpidemäärät ovat olleet aikaisempia vuosia suuremmat erityisesti Pohjois- ja Itä-Suomessa. Länsi- ja etelärannikolla lb-talvihoitoluokan tiet ovat suurimman osan ajasta paljaita ja liukkauden torjuntaan on käytetty hiekkaa harvoin.

Talvihoitoluokkien II ja III teiltä ei ollut käytettävissä kattavia tietoja talvilta 2003 - 2006, joten niiden osalta ei voida verrata toimenpidemääriä aikaisempiin vuosiin. Linjahiekoitusta on tarvittu koko maassa keskimäärin noin 10 kertaa/talvi II- ja III-luokan teillä talvina 2006 - 2008. Useimmiten hiekkaa on käytetty Pohjois- ja Itä-Suomessa.



Kuva 18. Suolauksen keskimääräiset toimenpidemäärät yksiajorataisilla teillä kolmessa korkeimmassa talvihoitoluokassa 2003 -2008.



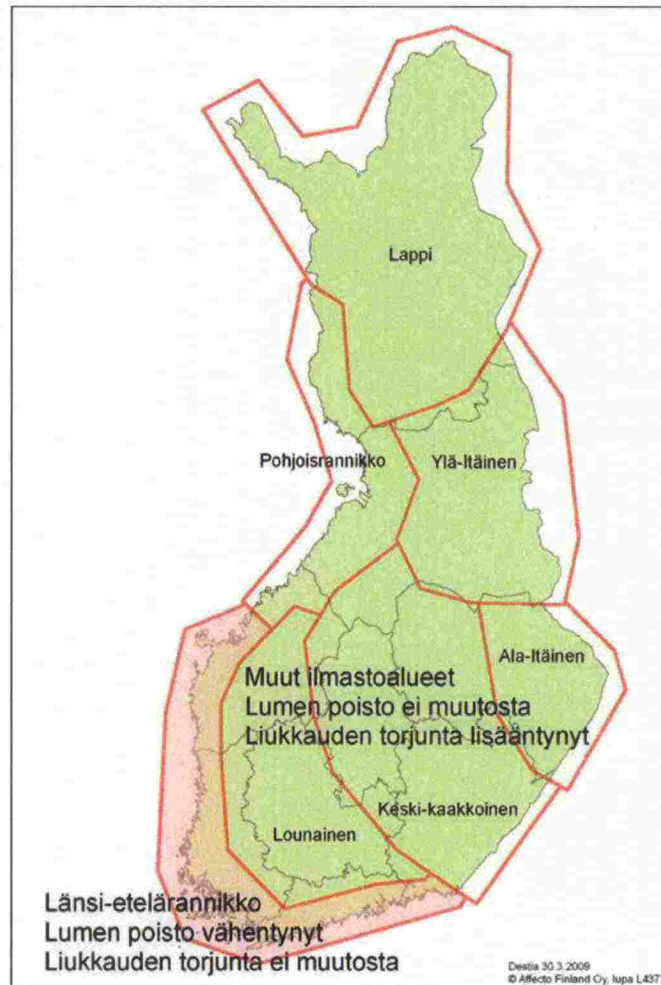
Kuva 19. Linjahiekoituksen keskimääräiset toimenpidemäärät yksiajorataisilla Ib-talvihoitoluokan teillä.

Yhteenvedona (kuva 20) kahden talven 2006 - 2008 vaikutuksista talvihoidon toimenpidemääriin verrattuna kolmeen aikaisempaan talveen voidaan todeta, että lumenpoiston tarve on vähentynyt länsi- ja etelärannikolla, mutta muualla Suomessa ei ole tapahtunut merkittävää muutosta. Liukkauden torjunnan tarve on länsi- ja etelärannikolla pysynyt ennallaan, mutta lisääntynyt muualla Suomessa.

Talvella 2006 - 2007 lumenpoiston tarve oli vähäistä melkein koko maassa, mutta rannikolla vielä selvästi muuta maata vähäisempää. Talvella 2007 - 2008 lumenpoistoa tehtiin muualla maassa tavanomaisesti, mutta länsi- ja etelärannikolla toimenpidemäärät olivat myös silloin vähäisempiä.

Talvella 2006 - 2007 suolaustarve oli vähäinen länsi- ja etelärannikolla, mutta muualla maassa toimenpiteitä oli tavanomainen määrä. Talvella 2007 - 2008 suolauskertoja oli selvästi enemmän sisämaassa ja Lapissa mutta länsi- ja etelärannikolla suolausta ei tarvittu keskimääräistä enempää.

Linjahiekoitusten määrät ovat talvina 2006 - 2008 olleet suurempia kuin aikaisempina talvina. Erityisesti Lapissa, pohjoisrannikolla ja itäisessä Suomessa teitä on hiekoitettu selvästi aikaisempia vuosia enemmän.



Kuva 20. Yhteenveto ilmastoalueittain kahden talven (2006 - 2008) talvihoidon toimenpidemääristä verrattuna kolmeen aikaisempaan talveen (2003 - 2006).

4.3.2 Sään vaikutus toimenpidemääriin

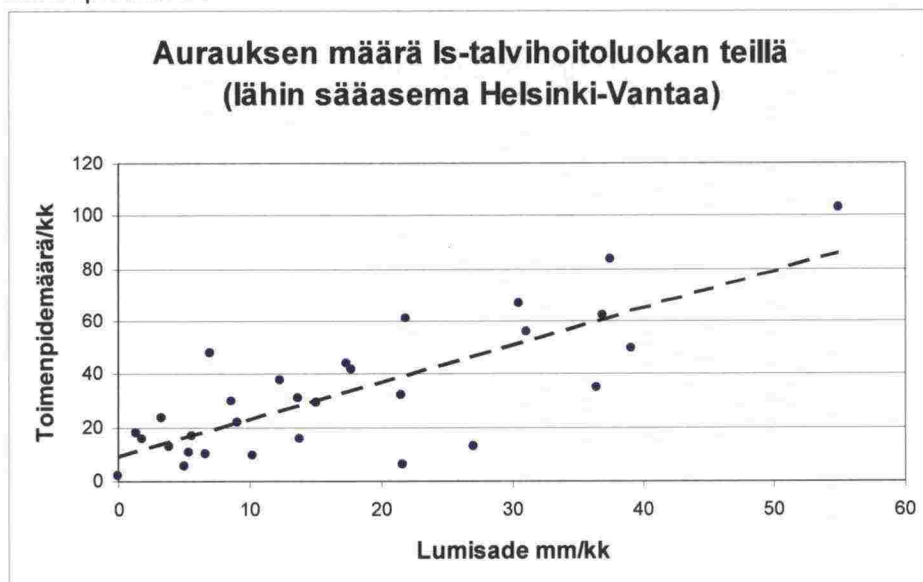
Lumenpoiston tarve määräytyy pääasiallisesti lumisateiden toistuvuudesta eli kuinka monta lumisadetta talven aikana on, ja lumisateiden ankaruudesta eli kuinka paljon kerralla lunta sataa ja kuinka kauan sade kestää. Näiden päätekijöiden lisäksi lumenpoiston tarpeeseen vaikuttavat mm. lumisateen laatu ja tuulet. (Laine et al. 2000).

Tiestön liukkauden syntyminen on lumenpoistoa selvästi monimutkaisempi ja vaikeammin määriteltävä ilmiö. Liukkautta syntyy monenlaisten sääilmiöiden seurauksena. Pääasiallisia tekijöitä sääilmiöissä ovat ilman ja tienpinnan lämpötila ja ilman kosteus. (Laine et al. 2000).

Talvihoidon toimenpidemäärien riippuvuutta sääolosuhteista tutkittiin Ilmatieteenlaitoksen sääasemilta laskettujen sääolosuhteita kuvaavien tunnuslukujen avulla. Analyysissa yhdistettiin kuukausittaiset toimenpidemäärät AURA-pistettä lähinnä sijaitsevan sääaseman tietoihin. Auruksen ja lumenpoiston

osalta tutkittiin kuukausittaisen lumisadesumman vaikutusta toimenpidemääriin eri hoitoluokkien tiellä. Suolauksen osalta tutkittiin niiden kertojen määrä, kun lämpötila laskee nolla-asteen alapuolelle ja niiden havaintojen osuuden, jolloin lämpötila on suolausalueella $-6\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +2\text{ }^{\circ}\text{C}$, vaikutusta toimenpidemäärään.

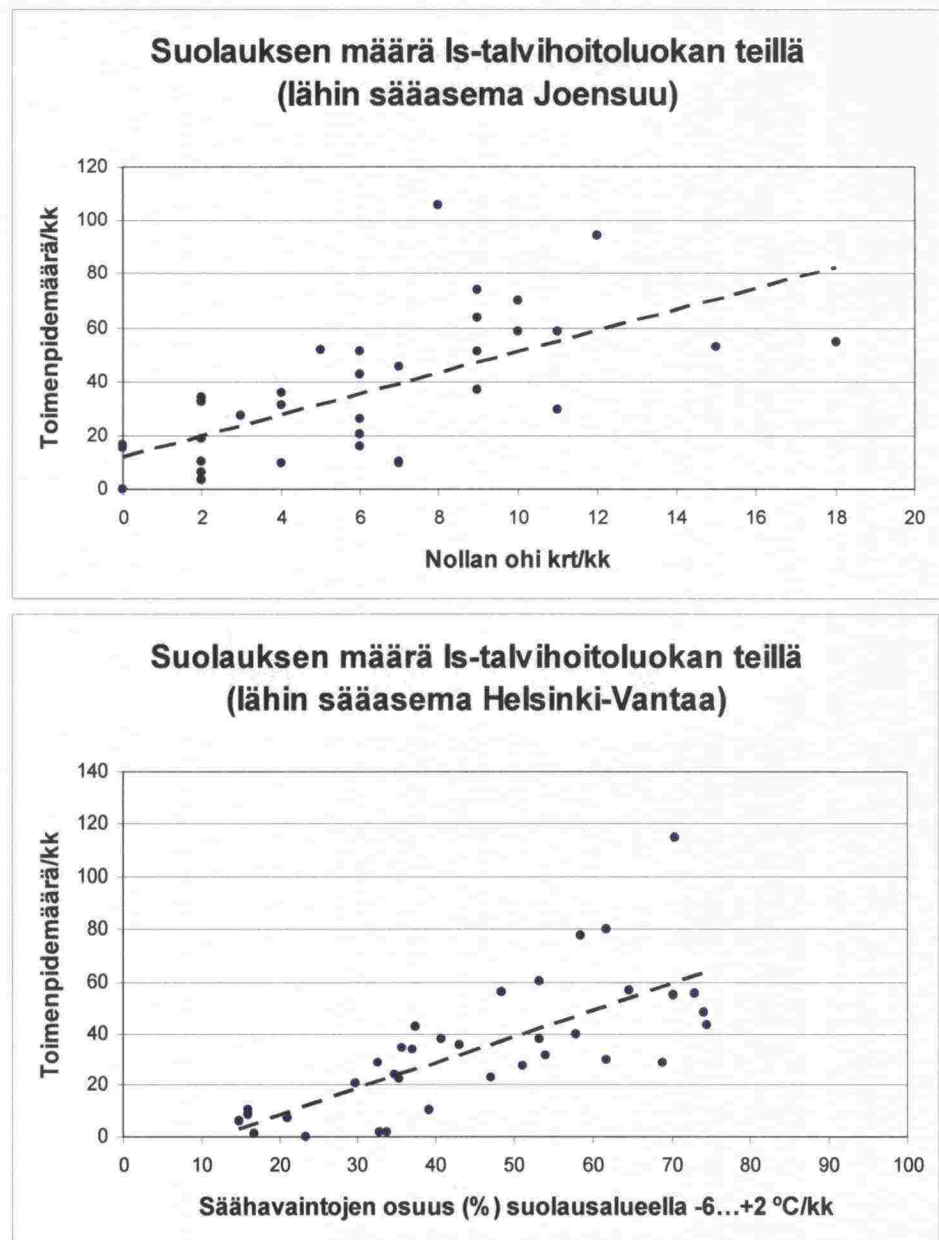
Tiellä lumisateen aikana sallittavan lumen määrä riippuu tien talvihoitoluokasta. Talvihoidon laatuvaatimusten mukaan enimmäislumisyyvyys päteillä on 4 cm ja alemmalla tieverkolla 8 - 10 cm. Kuukausittainen lumisadesumma kuvaa hyvin lumenpoiston toimenpidekertojen tarvetta (kuva 21). Vertailun perusteella 10 cm uutta lunta aiheuttaa korkeimpien talvihoitoluokkien tiellä (Is, I ja Ib) 10 - 15 toimenpidekertaa ja alemmalla tieverkolla (talvihoitoluokat II ja III) alle 6 toimenpidekertaa.



Kuva 21. Esimerkki lumisateen vaikutuksesta lumenpoiston toimenpidemääriin Is-talvihoitoluokan tiellä lähellä Helsinki-Vantaan lentoasemaa. Lumisateen määrä on esitetty vedeksi muutettuna. Yksi millimetri lumisadetta vedeksi muutettuna vastaa noin yhtä senttimetriä lumena.

Suolaa käytetään liukkauden torjuntaan pääasiassa vain talvihoitoluokkien Is ja I tiellä. Talvihoitoluokan Ib tiellä liukkaus torjutaan suolalla vain syys- ja kevätliukkailla sekä erityisissä ongelmatilanteissa. Tämä näkyy myös liukkauden torjuntatarvetta kuvaavien säätunnuslukujen vaikutuksessa toimenpidemääriin. Korkeimpien talvihoitoluokkien tiellä suolaustoimenpidekertoja on eniten, kun lämpötila on suolausalueella (kuva 22). Alimpien hoitoluokkien tiellä sääolosuhteet eivät vaikuta suolaustoimenpidemääriin, koska niillä liukkauden torjuntaan ei pääsääntöisesti käytetä suolaa.

Lopputuloksena voidaan todeta, että liukkauden torjunnan tarve tulee lisääntymään, kun lämpötila pysyttelee lähellä nollaa ja vaihtelee nollan molemmin puolin entistä useammin.

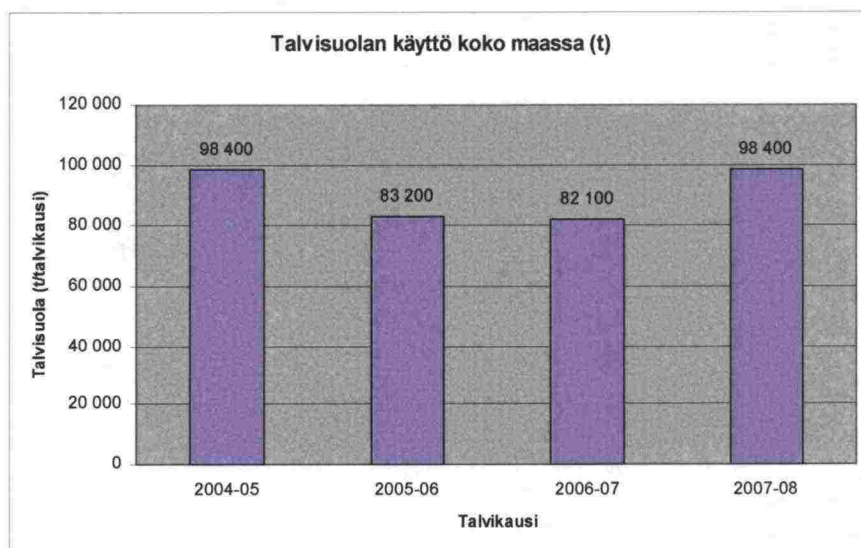


Kuva 22. Esimerkit lämpötilan vaikutuksesta suolaustoimenpidemääriin Is-talvihoitoluokkien teitä läheltä Joensuuta ja Helsinki-Vantaan lentoasemaa. Suolaus toimenpiteiden määrä kasvaa, kun lämpötila pysyttelee lähellä nollaa ja vaihtelee nollan molemmin puolin.

4.3.3 Suolan käyttömäärät

Tiedot talvisuolan käyttömääristä perustuvat hoitourakoitsijoiden AURA-järjestelmään ilmoittamiin tietoihin. Suolan käyttömääriä on tarkasteltu neljän talvikauden 2004 - 08 aineiston perusteella. Johtopäätelmiä tehtäessä on syytä varovaisuuteen, koska suolan käyttöä pyritään vähentämään ja hoitourakoissa on otettu käyttöön suolakiintiöt, joiden ylittäminen vähentää palkkiota ("suolasakko").

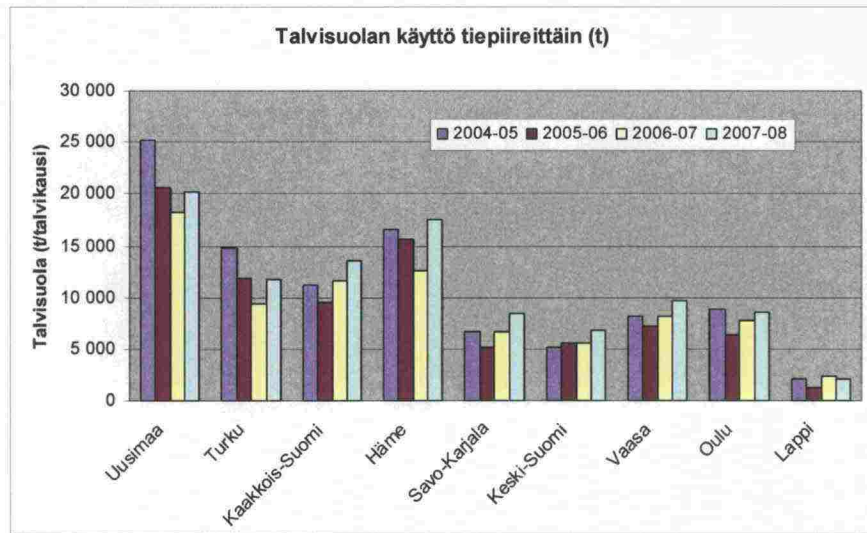
Talviliukkauden torjuntaan käytetään suolaa 80 000 - 100 000 tonnia/talvikausi. Tähän kokonaismäärään sisältyvät rakeisena levitettävän suolan lisäksi liuossuola ja hiekoitushiekka seassa käytettävä suola. Talvikausina 2004 - 05 ja 2007 - 08 suolaa on käytetty lähes 100 000 tonnia, mutta talvikausina 2005 - 06 ja 2006 - 07 on selvitty runsaalla 80 000 tonnilla (kuva 23). Suolan kokonaiskäytön suhteen talvet 2006 - 2008 eivät poikkea aikaisemmista.



Kuva 23. Talvisuolan kokonaiskäyttö talvikausina 2004 - 2008.

Suolaa käytetään runsaammin Etelä- ja Lounais-Suomessa (Uudenmaan, Hämeen, Turun ja Kaakkois-Suomen tiepiirit), jossa on enemmän nollakelejä ja joissa teitä pidetään laajemmin paljaana suolaamalla (kuva 24). Mantereisissa tiepiireissä suolan käyttö on selvästi vähäisempää. Lapin tiepiirissä suolan käyttö on selvästi muita tiepiirejä vähäisempää.

Neljän talvikauden aineiston perusteella näyttäisi siltä, että suolan käyttö on vähenemässä Uudenmaan ja Turun tiepiireissä. Muissa tiepiireissä Lappia lukuun ottamatta näyttäisi olevan lievää kasvua erityisesti talvella 2007 - 08, mutta muutokset eivät ole kovin selviä ja mahtunevat normaaliin vuosivaihteluun.

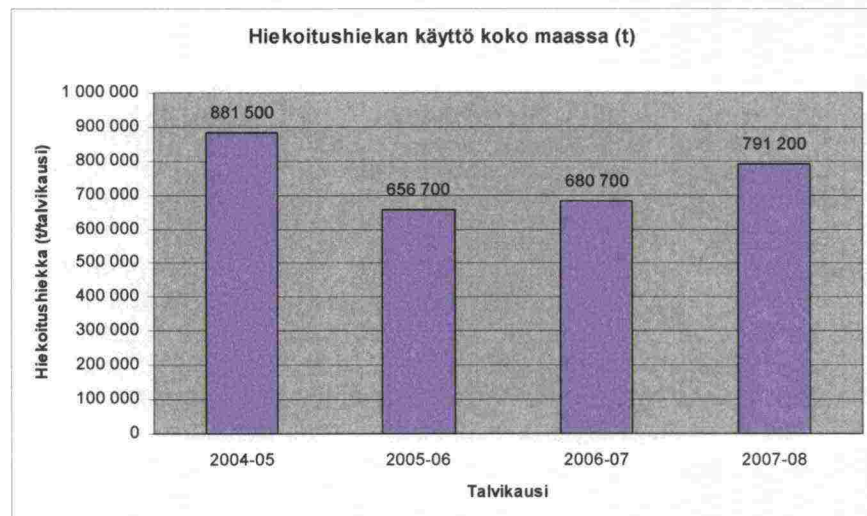


Kuva 24. Talvisuolan kokonaiskäyttö tiepiireittäin talvikausina 2004 - 2008.

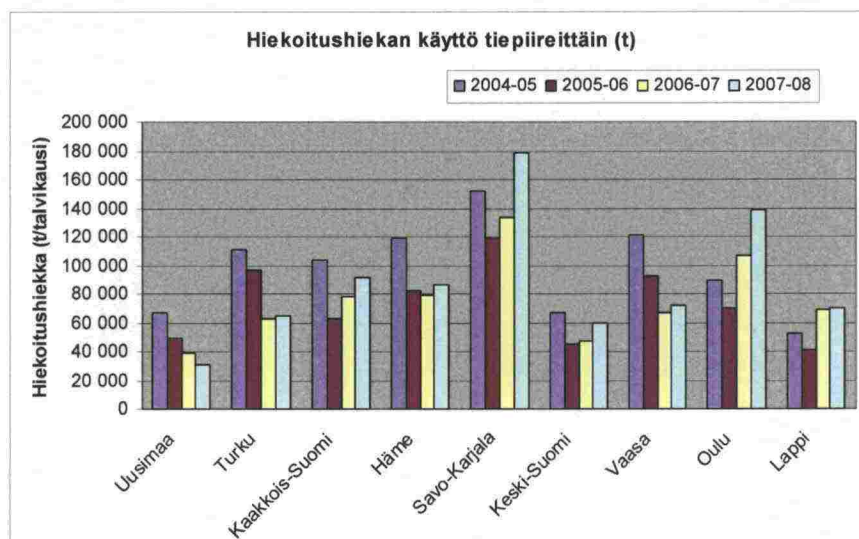
4.3.4 Hiekoitushiekan käyttömäärät

Tiedot hiekoitushiekan käyttömääristä perustuvat hoitourakoitsijoiden Aura-järjestelmään ilmoittamiin tietoihin. Käyttömääriä on tarkasteltu neljän talvikauden 2004 - 08 aineiston perusteella.

Hiekoitushiekkaa käytetään koko maassa 650 000 - 900 000 tonnia/talvikausi (kuva 25). Hiekoitushiekkaa käytetään eniten Savo-Karjalassa ja vähiten Uudellamaalla (kuva 26), mutta erot tiepiirien välillä ovat vähäisempiä kuin suolan käytössä. Neljän talvikauden perusteella vähenemää on Uudellamaalla, Turussa ja Vaasassa. Lisäystä taas on Oulussa, Savo-Karjalassa ja Lapissa. Selkeitä päätelmiä trendeistä ei kuitenkaan voida tehdä ja käyttö talvella 2004 - 05 on ollut suurinta lähes kaikissa tiepiireissä.



Kuva 25. Hiekoitushiekan käyttö koko maassa talvikausina 2004 - 2008



Kuva 26. Hiekoitushiekan käyttö tiepiireittäin talvikausina 2004 - 2008.

Yhteenvedona kahden talven (2006 - 2008) vaikutuksista talvihoidon toimenpidemääriin verrattuna kolmeen aikaisempaan talveen voidaan todeta, että lumenpoiston tarve on vähentynyt länsi- ja etelärannikolla, mutta muualla Suomessa ei ole tapahtunut merkittävää muutosta. Liukkauden torjunnan tarve on länsi- ja etelärannikolla pysynyt ennallaan, mutta lisääntynyt muualla Suomessa.

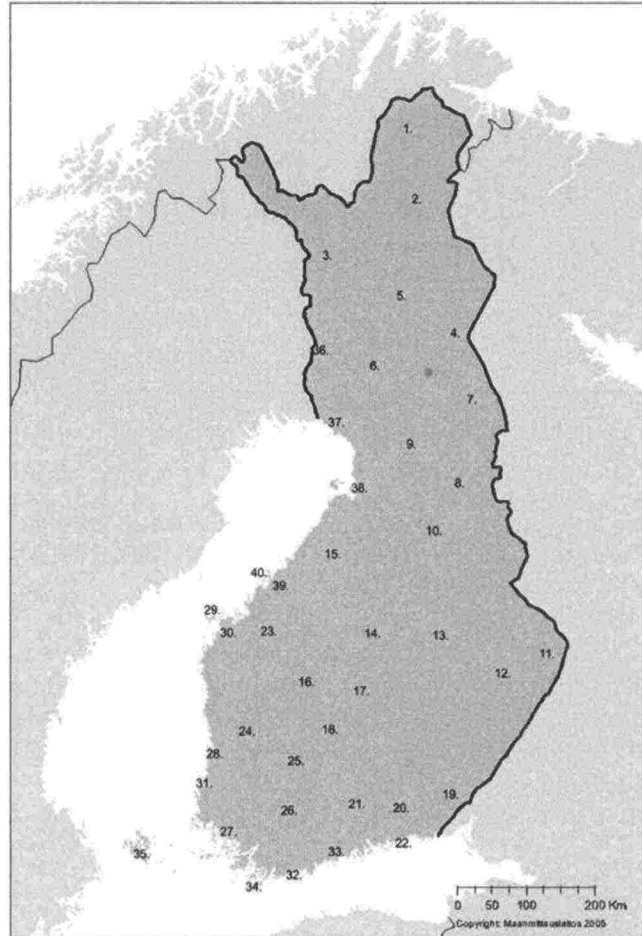
Lumisademäärällä ja avaruskertojen lukumäärällä on selkeä yhteys. Nollan lähellä olevien lämpötilojen ja erityisesti jäätymisspisteiden ohitusten määrä vaikuttavat suolauskertojen määrään.

4.4 Päälysteiden ylläpito

Ylemmän tieverkon päälysteiden ylläpitotoimenpiteiden laukaisevana tekijänä on yleensä päälysteiden urautuminen. Urautuminen nopeutuu lämpötilan laskiessa; talvien keskilämpötilan noustessa pakkaset vähenevät, mikä periaatteessa jonkin verran vähentää urautumista. Lisääntyvät sateet tulevat kuitenkin aiempaa useammin vetenä, jolloin tienpinnat ovat paljaita ja märkiä, mikä on niiden kulumisen kannalta pahempi tilanne kuin kuiva pakkassää. Erityisesti alkutalven märät ja paljaat kelit lisääntyvät lisäten urautumista voimakkaasti. Urautumista selittää parhaiten liikennemäärä. Kelien muuttuessa aiempaa kuluttavammiksi urautuminen nopeutuu. Lisäksi liikenne lisääntyy etenkin pääväylillä, mikä tulee osaltaan lisäämään niiden ylläpitotarvetta. Päälysteiden kulumisen muutos on oletettavasti suurin Ib-hoitoluokan teillä, joilla on tapahtunut suurin muutos polanneteistä paljaisiksi teiksi. Lisäksi paljaiden ja märkien teiden ajoratamerkinnot kuluvat polanteisia teitä nopeammin. Toisaalta lumenpoiston vähentyessä avaruskaluston aiheuttama tiemerkinnot kulumisen vähenee.

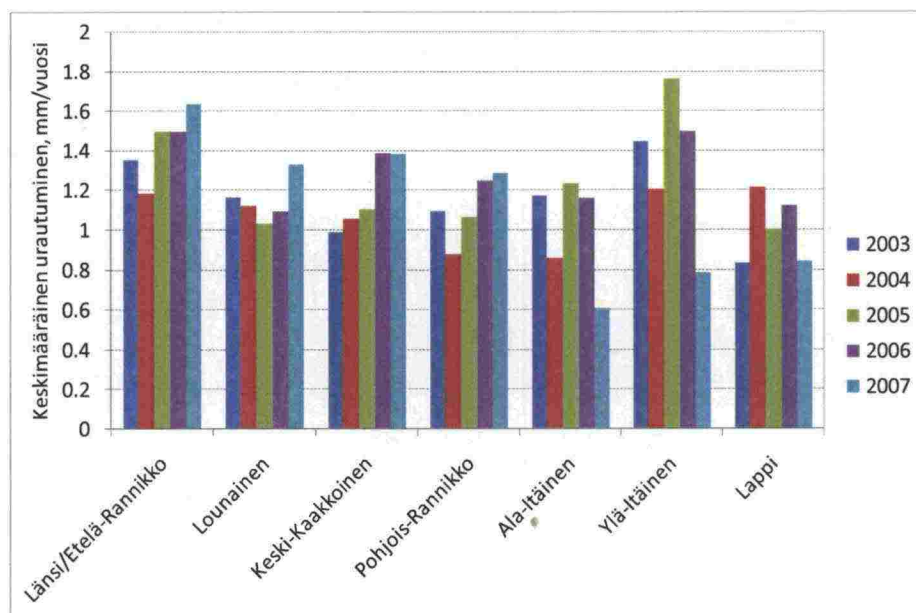
Kahden viime talven vaikutuksia päälysteiden ylläpitotarpeeseen arvioitiin Tiehallinnon Kuntorekisteri- ja Ilmatieteenlaitoksen sääasematietojen perusteella. Kuntorekisteristä valittiin päällystettyjä maanteitä 10 - 15 km säteellä

sääasemien (kuva 27) ympäriltä yhteensä noin 6 300 km. Näille teille haettiin kaikki ura- ja tasaisuusmittaukset vuosilta 2003 - 2008. Ura- ja tasaisuusmittauksista laskettiin kullekin 100-metriselle kaikki vuosiparit kahtena peräkkäisenä vuonna tehdyistä mittauksista.



Kuva 27. Tutkimuksessa käytettyjen Ilmatieteenlaitoksen sääasemien sijainti.

Kuvassa 28 on esitetty keskimääräinen urautuminen ilmastoalueittain sääasemien ympäristössä. Havaitaan, että urautuminen on lisääntynyt keskisillä ilmastoalueilla ja rannikolla keskimäärin 30 - 45 %. Itäisillä ilmastoalueilla ja Lapissa urautuminen on pysynyt ennallaan tai vähentynyt. Keskiarvojen voidaan todeta muuttuneen merkittävästi.



Kuva 28. Tiestön keskimääräinen urautuminen vuosina 2003 - 2008 ilmastoalueittain sääasemien ympäristössä. Vuosi osoittaa talven alkuvuoden: 2003 = talvi 2003 - 2004, jne. ja 2007 = talvi 2007 - 2008.

Yksittäisten kohteiden välillä on kuitenkin suurta vaihtelua urautumisnopeudessa. Tämän vuoksi selvitettiin selittävätkö säämuuttujat urautumisnopeuden vaihtelua. Talvikausille 2003 - 2008, yhteensä viisi talvea, laskettiin lokakuun ja huhtikuun väliselle ajalle taulukossa 2 esitetyt muuttujat.

Taulukko 2. Ilmatieteenlaitoksen säähavaintoasemilta kerätyt säämuuttujat.

Selite	Lyhenne
Keskilämpötila	Tmean
Mitattu sademäärä (mm)	Sade_mitattu
Lumena tulleen sateen määrä (mm)	Lumisade_mitattu
Vetenä tulleen sateen määrä (mm)	Vesisade_mitattu
Nollapisteen ohitusten lukumäärä	Nollan_ohi_krt
Päivien lukumäärä joina nollapiste ohitettu	Nollan_ohi_pvlkm
Päivien lukumäärä joina minimi pakkasen puolella	Pakkaspv_lkm
Päivien lukumäärä joina satanut lunta	Lumisadepv_lkm
Päivien lukumäärä joina lunta satanut yli 2 mm/vrk	Lunta_yli2mm
Päivien lukumäärä joina lunta satanut yli 5 mm/vrk	Lumi5
Päivien lukumäärä joina lunta satanut yli 10 mm/vrk	Lumi10
Päivien lukumäärä joina lunta satanut yli 15 mm/vrk	Lumi15
Suurin vuorokausittainen kuivan lumen sademäärä	Max_Lumi
Suolausalueella (-6...+2 °C) olevien lämpötilahavaintojen osuus lämpötilahavainnoista	T2m_suolaus_%
Suolausalueen alapuolella (<-6 °C) olevien lämpötilahavaintojen osuus lämpötilahavainnoista	T2m_alle-6_%

Keskilämpötila ja lämpötilahavaintojen osuus suolausalueella laskettiin keskiarvoina kolmen tunnin välein tehdyistä havainnoista. Muiden muuttujien arvot ovat summia kolmen tunnin välein tai kerran vuorokaudessa tehdyistä havainnoista. Kunkin talven arvoa verrattiin ko. talven aikana tapahtuneeseen tien rappeutumiseen, jota kuvattiin seuraavilla muuttujilla:

- Urasyvyys
- Epätasaisuus (IRI)
- Vesiura oikea
- Vesiura vasen
- Harjanteen keskiarvo
- RMS Mega oikea
- RMS Mega vasen

Säätiedot kohdistettiin kullekin 100-metriseksi. Taulukossa 3 on esitetty tiestön kuntomuuttujien muutoksen ja säämuuttujien välinen korrelaatio. Havaitaan, ettei näiden tekijöiden välillä ole kovin hyvää korrelaatiota. Vaikutukset ovat pääasiassa oikeansuuntaisia, mutta säämuuttujista ei löydy rappeutumisen muutosta selittäviä tekijöitä.

Taulukko 3. Tiestön kuntomuuttujien muutoksen ja säämuuttujien väliset korrelaatiot vuosina 2003 - 2008 IL:n sääasemia ympäröivällä tieverkolla. Vihreä väri kuvaa suurimpia ja punainen pienimpiä arvoja.

	dUra	dIri	dVuraO	dVuraV	dHarjaKa	dMegaO	dMegaV
Tmean	0.085	0.013	0.047	0.046	0.094	0.094	0.001
Sade_mitattu	0.072	0.003	0.032	0.046	0.082	0.082	-0.001
Lumisade_mitattu	-0.060	-0.002	-0.017	-0.030	-0.047	-0.047	-0.001
Vesisade_mitattu	0.087	0.004	0.035	0.052	0.091	0.091	-0.001
Nollan_ohi_krt	0.043	0.029	0.029	0.019	0.055	0.055	0.003
Nollan_ohi_pvlkm	0.039	0.031	0.032	0.015	0.054	0.054	0.004
Pakkaspv_lkm	-0.026	0.009	-0.001	-0.015	-0.022	-0.022	0.002
Lumisadepv_lkm	-0.054	0.003	-0.017	-0.026	-0.054	-0.054	0.001
Lunta_yli2mm	-0.064	0.004	-0.033	-0.037	-0.050	-0.050	0.001
Lumi5	-0.037	-0.004	-0.013	-0.004	-0.013	-0.013	-0.003
Lumi10	-0.015	-0.001	-0.003	0.004	-0.013	-0.013	-0.002
Lumi15	0.019	-0.001	0.021	-0.002	0.002	0.002	-0.001
Max_Lumi	-0.013	-0.011	0.010	-0.013	-0.023	-0.023	-0.003
T2m_suolaus_%	-0.013	0.048	0.005	-0.012	0.014	0.014	0.006
T2m_alle-6_%	-0.075	-0.026	-0.045	-0.044	-0.095	-0.095	-0.002

Päällysteiden laboratoriotutkimusten ja koetiekokeiden perusteella tiedetään, että märät ja paljaat tienpinnat lisäävät nastarenkaiden aiheuttamaa urakulumista. Mitä enemmän liikennettä ja mitä suurempi osa autoista on varustettu nastarenkailla, sitä nopeampaa urasyvyyden kasvu on. Haettu ilmiö, urautumisen muutos sään muuttuessa, voi peittyä liikenteen muutosten alle. Tiedetään, että erityisesti pääteiden liikenne kasvaa vuosittain 1 - 3 %. Liikenteen määrän ja koostumuksen muutoksia ei kuitenkaan saada kuntorekisteriaineistossa kohdistettua yksittäisille tiejaksoille, joiden urautumisen muutosta pyritään selittämään.

Yhtenä syynä siihen, ettei urautumisen muutosta pystytä selittämään säämuuttujilla, on mahdollisesti se että mittausepävarmuus peittää alleen havaittavan ilmiön. Kuntorekisterimittausten yhteydessä tehtävien kontrollimittausten perusteella yksittäinen uramittausulos on 95 % todennäköisyydellä mitattu arvo \pm enintään 1,8 mm. Tavallinen urasyvyyden muutos yhden talven aikana vaihtelee 0,5..3 mm välillä. Urautumisen huomattava nopeutuminen 50 %:lla on siten suuruusluokkaa 0,25...1,5 mm / vuosi. Näinkin huomattava muutos on kuntorekisterimittauksin tuskin havaittavissa.

Lämpimät sateiset talvet lisäävät paljaiden tienpintojen osuutta talvikeleistä. Sen tiedetään nopeuttavan teiden kulumista. Keskimääräinen urautumisnopeus on maan etelä- ja länsiosissa kasvanut 30 - 45 % viiden vuoden aikana. Maan itäosissa ja Lapissa urautuminen on pysynyt ennallaan tai hidastunut. Yksittäisten havaintojen vaihtelu on kuitenkin suurta, eikä selkeää yhteyttä esim. urautumisnopeuden muutoksen ja säämuuttujien välille löydetty. Urautumisnopeuden kasvu 40 %:lla saa aikaan vastaavan päällystyskierron nopeutumisen. Uusia päällysteitä tehdään urautumisen vuoksi vuosittain 50 M€:lla. Päällysteiden ylläpitotarpeen voidaan siten arvioida kasvavan 17 %:lla 120 M€:sta vuodessa 140 M€:ään vuodessa lähivuosina.

Routanousujen ja roudan sulamisen yhdessä liikennekuormituksen kanssa aiheuttama vaurioituminen on alemmalla tieverkolla ollut toimenpiteen laukaiseva tekijä. Viime vuosien lauhoina talvina on kuitenkin ilmennyt uudenlainen päällysteen pinnasta etenevä vauriomekanismi, jota liikennekuormitus pahentaa. Toistuvat sulamis-jäätymissyklit rapauttavat päällystettä. Kosteus ja uriin seisomaan jäävä vesi antaa erityisesti raskaan ajoneuvon renkaan ylityksestä iskun päällysteen heikkoihin kohtiin ja käynnistää murtumisen. Tämän seurauksena päällystettyjen teiden paikkauksiin käytetään rahaa jopa moninkertainen määrä suunniteltuun verrattuna.

Automaattista päällystevaurioiden mittausta (APVM) on tehty vuodesta 2006, mutta Kuntorekisteriin talletettujen vauriotietojen perusteella ei toistaiseksi voida arvioida tiestön vaurioitumisnopeutta tai sen muutoksia (Ruotoistenmäki et al. 2009). Ilmaston muutoksen aiheuttaman vaurioitumisen ja ylläpitotarpeen lisääntymisen selvittämiseksi mittauksia on jatkettava siten, että saadaan muodostettua tiestön kunnon aikasarjat.

Roudan sulaminen ja pohjavedenpinnan tason nousu lisäävät tierakenteiden deformaatioita (pysyviä muodonmuutoksia), mikä näkyy erityisesti alemmalla tieverkolla päällysteen urautumisena ja ajourien välisen harjanteen lisääntymisenä. Koetiekonetuloksissa on todettu 35 cm pohjavedenpinnan nousun aiheuttavan 50% nopeutumisen urautumisessa. Kuivatuksen tehostaminen onkin ensiarvoisen tärkeää rakenteiden säilymisen kannalta ja yleensä edullisin ja tehokkain tapa korjata tie. Tällä perusteella kuivatuksen toimivuusvaatimusten käyttöönottoa alueurakoissa suositellaan.

Yhteenvetona voidaan todeta, että lämpimät sateiset talvet lisäävät paljaiden tienpintojen osuutta talvikeleistä ja nopeuttavat teiden kulumista. Keskimääräinen urautumisnopeus on etenkin maan etelä- ja länsiosissa kasvanut 30 - 45 % viiden vuoden aikana. Yksittäisten havaintojen vaihtelu on kuitenkin suurta, eikä selkeää yhteyttä esim. urautumisnopeuden muutoksen ja säämuuttujien välille löydetty. Urautumisnopeuden kasvu 40 %:lla saa aikaan vastaavan päällysteiden ylläpitotarpeen kasvun urautumisen vuoksi päällystettävillä teillä, vuositason lisäys on noin 20 M€.

Lauhoina talvina toistuvat sulamis-jäätymissyklit rapauttavat päällystettä ja liikennekuormitus reikiinnyttää päällysteen. Tiestön vauriotilan selvittämiseksi automaattisen päällystevaurioiden mittauksen (APVM) tuloksista on saatava muodostettua tiestön kunnon aikasarjat mahdollisimman pian.

4.5 Sorateiden hoito

4.5.1 Sorateiden palvelutaso

Sorateiden palvelutaso määritellään kolmen tienkäyttäjän ajomukavuuteen vaikuttavan tekijän perusteella: tasaisuus, kiinteys (irtoaineksen määrä) ja pölyäminen. Sorateiden pinnan on oltava riittävän tasainen, kiinteä ja pölyämätön sekä tien poikkileikkausmuodon on oltava kunnossa.

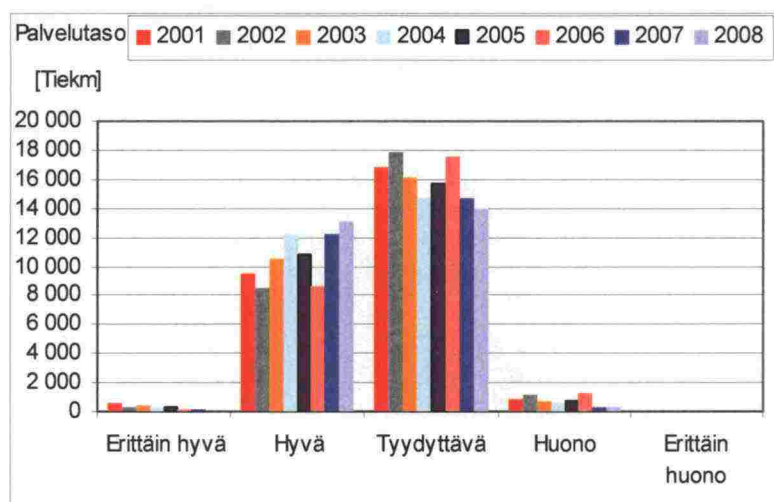
Kesän säät vaikuttavat sorateiden palvelutasoon. Runsaat sateet vähentävät pölyämistä ja irtoaineksen määrää. Kuivina kesinä taas tiet pölyävät ja irtoaineksen määrä lisääntyy. (Tiehallinto 2007).

Tätä selvitystä varten on koottu vuosien 2007 ja 2008 sorateiden kuntoinventointitiedot jatkoksi aikaisemmille selvityksille. Sorateiden palvelutason vuosittaiset vaihtelut ovat varsin vähäisiä. Vuosikeskiarvoista on havaittavissa kuivat kesät 2002 ja 2006, jolloin palvelutaso on ollut hiukan matalampi kuin muina kesinä (kuva 29).

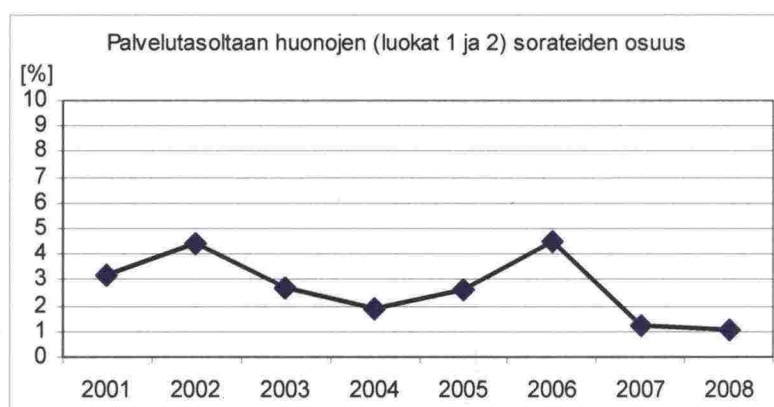


Kuva 29. Sorateiden keskimääräinen palvelutaso koko maassa vuosina 2001 - 2008. Yhdistetty palvelutaso (1...5), joka sisältää tasaisuuden, kiinteiden ja pölyävyyden.

Suurimmalla osalla sorateita palvelutaso on hyvä tai tyydyttävä (kuva 30), mutta vuosijakaumista ja palvelutasoltaan huonojen tai erittäin huonojen sorateiden osuudesta (kuva 31) on havaittavissa kesien 2002 ja 2006 poikkeamat alaspäin.



Kuva 30. Sorateiden palvelutasoluokkakajakauma koko maassa vuosina 2001 - 2008. Yhdistetty palvelutaso, joka sisältää tasaisuuden, kiinteyden ja pölyävyyden.



Kuva 31. Palvelutasoltaan huonojen (luokat 1 ja 2) ja erittäin huonojen sorateiden osuus koko maassa vuosina 2001 - 2008 (palvelutasoluokat 2 ja 1). Yhdistetty palvelutaso, joka sisältää tasaisuuden, kiinteyden ja pölyävyyden.

Palvelutasomittausten mukaan pintakunnoltaan huonoja sorateita on eniten kuivina kesinä, jolloin irtoaineksen määrä lisääntyy ja tiet pölyävät. Sateisina kesinä soratiet ovat paremmin muokattavia, jolloin niiden hoito on helpompaa. Tosin nykyisin mitattavat palvelutasotekijät eivät ehkä ota riittävästi huomioon sadesäihin liittyviä sorateiden pehmeyttä, kuraisuutta ja lätkäkköisyyttä, joita tienkäyttäjät pitänevät haittoina.

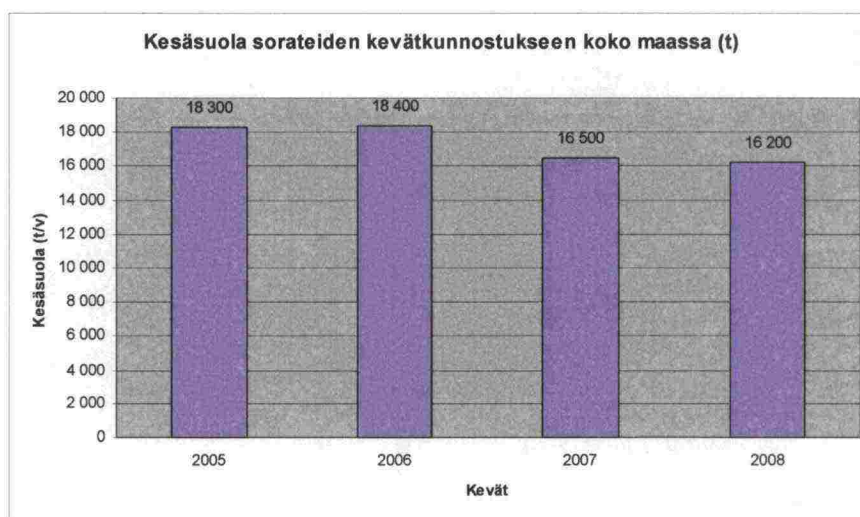
Ilmastomuutoksen vuoksi kuumien kesäpäivien ennustetaan lisääntyvän, mikä hankaloittaa sorateiden kesähoitoa. Toisaalta kesäsateet muuttuvat rankemmiksi, jolloin sorateiden syöpyminen saattaa lisääntyä. Ilmastomuutoksen vaikutukset sorateiden kesäaikaisen hoitoon eivät kuitenkaan liene kovin dramaattisia.

Enemmän sorateiden hoitoon vaikuttaa se, että talven lyhentyessä sorateiden kesähoitokausi venyy sekä keväällä että erityisesti syksyllä. Talven ja roudan tulon viivästyessä sorateita on aikaisempaa vaikeampi saada pysymään hyväkuntoisina talven alle. Talven lämpökausien aikana paljaita sorateita on lounaisrannikolla jouduttu hoitamaan sorateina keskellä talvea. Ilmaston lämpenemisen seurauksena tämä ilmiö tulee leviämään muuallekin Etelä-Suomeen.

4.5.2 Kesäsuolan käyttömäärät

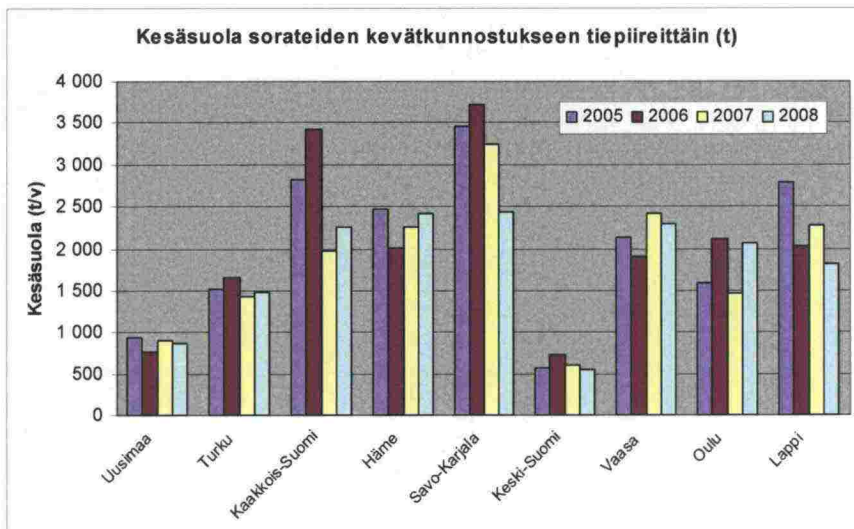
Sorateita suolataan sekä kevätkunnostuksen yhteydessä että tarvittaessa kesän mittaan. Tiedot kevä- ja kesäsuolan käyttömääristä perustuvat hoitourakoitsijoiden AURA-järjestelmään ilmoittamiin tietoihin. Suolan käyttömääriä on tarkasteltu neljän kesäkauden 2005 - 08 aineiston perusteella.

Sorateiden kevätkunnostuksen yhteydessä käytetään suolaa 16 000 - 18 500 tonnia/kevät. Vuosina 2007 ja 2008 suolamäärät ovat hieman pienempiä kuin aikaisempina keväinä (kuva 32).



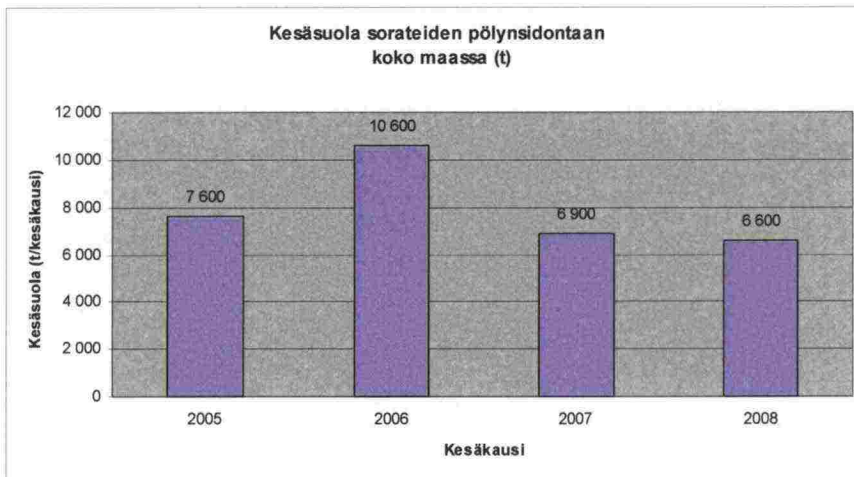
Kuva 32. Sorateiden kevätkunnostukseen käytetty suola koko maassa vuosina 2005 - 2008.

Sorateiden pituudet vaikuttavat kevätsuolan käyttömääriin, mikä selittää eroja eri tiepiirien välillä (kuva 33). Neljän kevään vertailussa tiepiirikohtaisissa käyttömäärissä ei ole suuria eroja; ainoastaan Kaakkois-Suomessa ja Savo-Karjalassa keväiden 2007 ja 2008 suolamäärät ovat edelliskeväitä pienempiä.



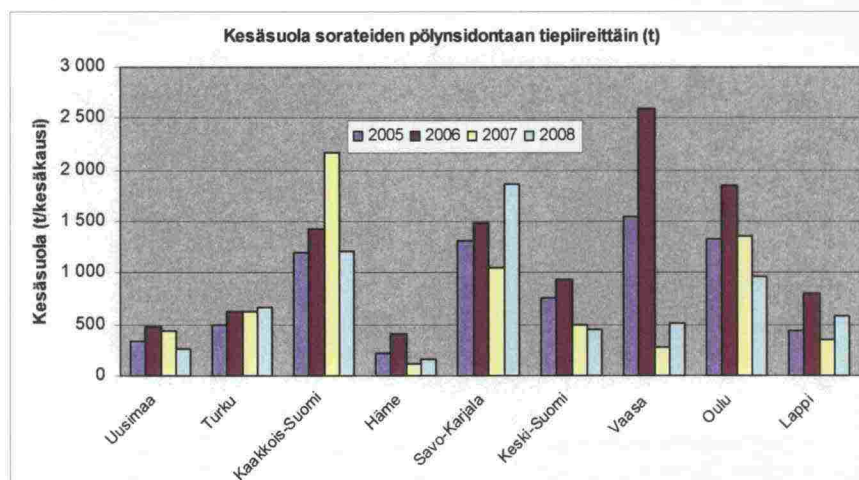
Kuva 33. Sorateiden kevätkunnostukseen käytetty suola tiepiireittäin vuosina 2005 - 2008.

Kesän lisäpölynsidontoihin käytetään suolaa koko maassa 6 500 - 10 500 tonnia/kesä eli noin puolet kevät-suolauksen määrästä (kuva 34). Vuosina 2007 ja 2008 suolan käyttö on ollut vähäisempää kuin edellisinä kesinä, mihin lienee syynä kesien sateisuus.



Kuva 34. Sorateiden kesäpölynsidontaan käytetty suola koko maassa kesäkausina 2005 - 2008.

Vuosivaihtelut kesäsuolan käyttömäärissä ovat osassa tiepiirejä suuria (kuva 35). Erityisesti Vaasassa, Keski-Suomessa ja Hämeessä kesien 2007 ja 2008 suolan käyttö on ollut selvästi aikaisempia kesiä vähäisempää. Kuitenkin sateisuudesta huolimatta Kaakkois-Suomessa kesän 2007 ja Savo-Karjalassa kesän 2008 käyttömäärät ovat muita kesiä suurempia, joten varmaa yhteyttä kesän sateisuuden ja pölynsidontasuolauksen tarpeen välillä ei ole havaittavissa.



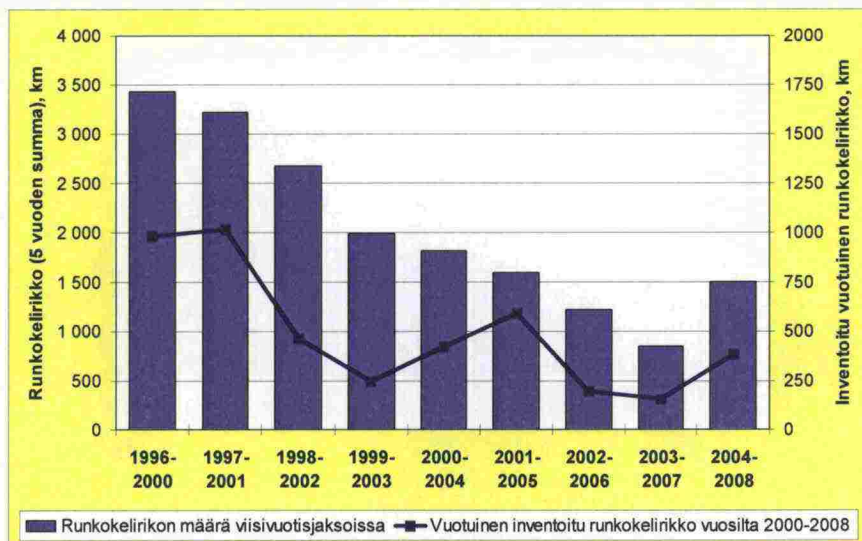
Kuva 35. Sorateiden kesäpölynsidontaan käytetty suola tiepiireittäin kesäkausina 2005 - 2008.

Palvelutasomittausten mukaan huonokuntoisia sorateita on eniten kuivina kesinä. Tällöin irtoainespitoisuus kasvaa ja myös pölyävyys on keskimääräistä suurempaa. Ilmastonmuutoksen vuoksi kuumien kesäpäivien ennustetaan lisääntyvän, mikä hankaloittaa sorateiden kesähoitoa. Toisaalta kesäsateet muuttuvat rankemmiksi, jolloin sorateiden syöpyminen saattaa lisääntyä.

Kesän säitä enemmän sorateiden hoitoon vaikuttaa kesähoitokauden pidentyminen keväällä ja varsinkin syksyllä. Talven ja roudan tulon viivästyessä sorateita on aikaisempaa vaikeampi saada pysymään hyväkuntoisina talven alle. Talven lämpökausien aikana paljaita sorateita joudutaan hoitamaan sorateina keskellä talvea.

4.6 Sorateiden ylläpito

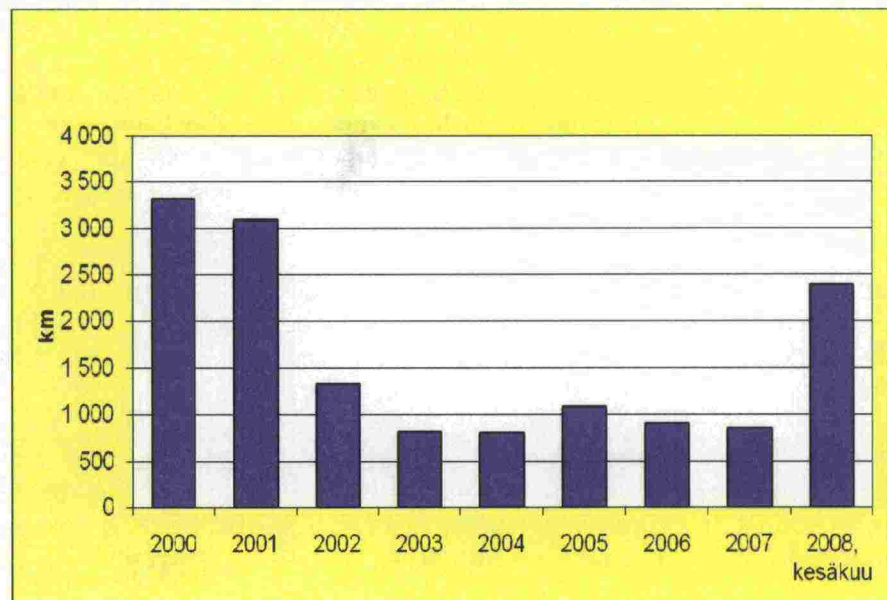
Kahden lämpimän talvikauden 2006 - 2007 ja 2007 - 2008 vaikutuksia sorateiden ylläpitotarpeeseen arviointiin kelirikon ja siitä aiheutuvien painorajoitusten määrien perusteella. Viime vuosina kelirikon määrä on vähentynyt aina vuoteen 2008 saakka (kuva 36). Sama myönteinen kehitys ilmenee myös tarkasteltaessa kelirikosta aiheutuvien painorajoitusten määrää (kuva 37). Syinä pitkään jatkuneeseen kelirikon vähenemiseen ovat tehdyt kelirikkokorjaukset, keskimääräistä alemmalla tasolla olleet pohjavedet, suotuisat talvet ja erittäin aurinkoiset kevät.



Kuva 36. Runkokelirikon määrä viisivuotisjaksoissa ja vuotuinen inventoitu runkokelirikko vuosilta 2000 - 2008. (Tiehallinto 2008)

Tilanne muuttui keväällä 2008, jolloin inventoidun kelirikon määrä kaksinkertaistui ja painorajoitusten määrä liki kolminkertaistui edellisvuosiin verrattuna. Syinä tähän ovat ennen kaikkea lisääntyneet sateet, kohonneet pohjavedenpinnat ja hidas routaantuminen. Lisäksi roudan sulamisaikana sää oli normaali toisin kuin muutamana aiempänä keväänä, jolloin aurinkoiset ja tuuliset säät lievensivät kelirikon vaikutuksia. Tämän vuoksi kevään 2008 kelirikko kuvastaa hyvin etenevän ilmastonmuutoksen aikaisten keväiden kelirikkoa. Kelirikon vaikeuteen vaikuttavat varsin monet toisistaan riippumattomat tekijät, minkä johdosta kelirikon vaikeuden vuosittaiset vaihtelut tulevat jatkossa olemaan suuria.

Vuosina 2005 – 2008 kevätkelirikon hoitoon on käytetty keskimäärin noin 200 000 t/v kunnossapitomursketta. Viime vuosina kevät kelirikkomurskeiden käytön määrä on vaihdellut melko vähän. Vaikeana kelirikkokeväänä 2008 mursketta käytettiin 227 000 t., mikä vastaa noin 2,7 M€ kustannusta.



Kuva 37. Kelirikosta aiheutuvien painorajoitusten määrä vuosilta 2000 - 2008. (Tiehallinto 2008)

Talvikausien 2006 - 2007 ja 2007 - 2008 kelirikolle on luonteenomaista runsaiden sateiden aiheuttama syyskelirikon suuri määrä. Syyskelirikkoa ei inventoida kattavasti, mutta syksyllä 2006 asetettiin painorajoituksia noin 430 tiekilometrille, mikä on noin 50 % koko vuoden painorajoitusten määrästä. Syksyllä 2007 ja tammikuussa 2008 painorajoitus määrättiin noin 190 tiekilometrille. Tavanomaisina vuosina syys- ja talvikelirikkoa on esiintynyt hyvin vähän. Syyskelirikkoa esiintyy selvästi eniten Vaasan tiepiirissä. Ilmastomuutoksen johdosta syyskelirikon voidaan arvioida yleistyvän. Syyskelirikon paheneminen on lisännyt myös kelirikon lievittämiseen tarvittavien murskeiden käyttöä. Vuonna 2006 tähän tarkoitukseen käytettiin noin 100 000 t, mikä vastaa noin 1,2 M€:n lisäkustannuksia. Karkeasti voidaan arvioida, että ilmastomuutos lisää kelirikosta johtuvia hoitokustannuksia kevät- ja syyskelirikon osalta yhteensä noin 1,0 M€.

Yhteenvetona voidaan todeta, että ilmastomuutos lisää kevään kelirikon määrää ja vaikeutta, joten myös painorajoitusten määrä lisääntyy jos tieverkkoa ei paranneta kestävämmäksi kelirikkoa vastaan. Myös syyskelirikon määrä tulee lisääntymään merkittävästi. Kelirikon aiheuttamia hoitokustannuksia ilmastomuutos lisää keskimäärin noin 1,0 M€.

4.7 Siltojen hoito ja ylläpito

Siltojen rapautumiseen vaikuttavat tiesuolan käyttömäärä sekä jäätymis-sulamissyklien määrä. Suolaamattomilla teillä siltojen reunapalkit kestävät 30 - 40 vuotta, mutta suolattavilla teillä vain 20 - 25 vuotta. Suolausmäärien lisääntyminen sekä entistä useampien teiden ja siltojen tulo suolauksen piiriin lisää kokonaisvaurioitumista. Talvien lämpötilan nousu edistää korroosiota. Jo - 5 °C:ssa korrosio on hyvin hidasta. Sekundaarinen vaikutus korroosioon on ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvulla, joka kiihdyttää karbonatisoitumista.

Siltojen ylläpidossa korostuvat pintarakenteiden vaurioiden korjauksen merkitys, koska kosteus ei saa päästä siltarakenteisiin. Halkeamat ja muut vauriot on tarpeen korjata heti, koska pintarakenteet suojaavat kantavia rakenteita. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota päällysteen bitumisaumojen kuntoon (vedenpitävyyteen) ja sillan kuivatusputkien puhtaanapitämiseen. Talvikaudella levitetty tiesuola pestään pois kerran vuodessa keväisin. Työn huolellisuuteen on kiinnitettävä huomiota.

Virtaamien kasvu lisää eroosiota, joka vaikuttaa siltapilareihin ja putkisiltoihin. Tulvat saattavat olla aikaisempaa rajumpia ja kalliiden sukellustarkastusten tarve lisääntyy. Veden pintojen nousu vaikeuttaa vesirajassa tehtäviä korjauksia.

Yhteenvedona voidaan todeta, että on kiinnitettävä huomiota ohjeiden ja toimintalinjojen noudattamiseen, erityisesti siltojen huolelliseen pesuun keväisin, vaurioiden huolelliseen korjaamiseen ja sillan kuivatusjärjestelmän (pintakuivatus, sillan sisäinen kuivatus) toimivuuden varmistamiseen.

Virtaamien kasvu lisää eroosiota, ja tulvat saattavat olla aikaisempaa rajumpia.

On varauduttava ylläpitotarpeen lisääntymiseen.

5 VAIKUTUKSET HOIDON JA YLLÄPIDON TOIMINTATAPOIHIN

Tässä luvussa on käsitelty ilmastomuutoksen vaikutuksia hoidon ja ylläpidon toimintatapoihin. Vaikutusten ja muutosten arviointi perustuu

- Selvityksessä tehtyyn kirjallisuustutkimukseen (luku 3).
- Vuosien 2006 -2008 muutosten analysointiin (luku 4).
- Työn yhteydessä tehtyyn haastattelukierrokseen eri puolilla maata teiden hoidosta ja ylläpidosta sekä Tiehallinnossa että hoitourakoitsijoilla (lähinnä Destia) vastaavien kokemuksista ja näkemyksistä sekä
- Selvitystyön yhteydessä pidetyn työseminaarin antiin.

Tavoitteena oli selvittää, onko tienpidon toimintalinjoja, ohjeita, laatuvaatimuksia, ohjelmointia ja seurantaa tarpeellista muuttaa tai kehittää ilmastomuutoksen vaikutusten vuoksi.

5.1 Talvihoito

Talvihoidon vuonna 2008 uusitut toimintalinjat

Talvihoidon toimintalinjat on uusittu vuoden 2008 aikana. Lähtökohtana on edelleen, että valtaosa henkilöautosta käyttää nastarenkaita. Toimintalinjoissa on tiedostettu, että ilmaston lämpeneminen ja sen synnyttämä poikkeuksellisten sääolojen lisääntyminen on merkittävä uusi haaste talvihoidolle.

Aikaisempaan nähden hoitotasoa on hieman nostettu. Liukkauden torjuntaa on tehostettu mm. parantamalla liukkaudentorjunnan ennakointia vilkasliikenteisillä teillä (KVL yli 15 000 autoa/vrk), poistamalla aikaisemmat yöajan lievennykset sekä yhtenäistämällä kitkavaatimuksia. Osa seututeistä nostetaan ylempään talvihoitoluokkaan. Alemmalla tieverkolla kiristetään tasaisuusvaatimuksia, mutta lisätään joustavuutta hiekoitukseen.

Ilmastomuutokseen liittyen toimintalinjoissa on tarkennettu linjauksia poikkeuksellisten sääolojen, lähinnä poikkeuksellisten lumimyrskyjen aikana. Kaluston ja toiminnan mitoituksen lähtökohtana hyväksytään tilanne, että hoidossa priorisoidaan vilkkaiden pääteiden hoitoa ja että muilla teillä aikavaatimuksista jälkitilanteen "normalisoinnille" voidaan suunnitellusti tinkiä.

Toimintalinjat tulevat käyttöön syksyllä 2009. Laatumuutokset hoitoluokkien 1s, I ja Ib sekä kaikkien pääteiden osalta neuvotellaan käynnissä oleviin hoitourakoihin. Muiden teiden osalta laatuvaatimukset tulevat käyttöön vasta uusien urakoiden kilpailutusten yhteydessä. Toimintalinjamuutosten kokonaisuudessaan arvioidaan nostavan talvihoidon kustannuksia 8 - 9 M€ vuodessa.

Lumen poisto ja liukkaudentorjunta

Talvihoitoa toteutetaan maan eri osissa paikallisten olosuhteiden mukaisesti. Leudontuneiden talvien myötä aikaisemmin Etelä-Suomelle tyypilliset olosuhteet siirtyvät pohjoisemmaksi ja vastaavasti talvihoitoa on tarpeen sopeuttaa muuttuviin olosuhteisiin. Tämä näkyy mm. siten, että "suolausraja"

eli alue, jossa pääteitä voidaan pitää ympäri vuoden suolalla sulana, nousee vähitellen pohjoisemmaksi.

Lumisateiden osalta tilanteen ennustetaan kehittyvän siten, että koko talven aikana satavan lumen määrä vähenee, mutta lumimyrskyjen myötä kerrallisten sateiden, etenkin suurten lumisateiden määrä lisääntyy. Talven lyhentymisen myötä aika, jolloin aurausta tarvitaan, tulee lyhentymään koko maassa. Viime talvien analysoinnin perusteella näyttää siltä, että aurasuorittajat ovat hieman vähentyneet eteläisellä ja lounaisilla rannikoilla, mutta säilyneet muualla ennallaan.

Merijään väheneminen voi lisätä tuulisuutta rannikolla. Toistaiseksi kinostumisen lisääntymistä tai aurauksen vaikeutumista rannikkoalueilla ei haastatteluissa ole pidetty isona ongelmana, mutta asiaan tulisi varautua määrittelemällä kinostumisherkät tieosat, pyrkimällä ennakoimaan kinostumistilanteet (sääennusteet) sekä kehittämällä kinostumista estäviä ratkaisuja. Haastattelujen mukaan Lapissa tuiskaisuus ei ole viime vuosina lisääntynyt, vaan ehkä hieman vähentynyt. Lumiaitojen käyttöä on jonkin verran vähennetty ja kinostumista pyritään estämään halvemmilla menetelmillä, esimerkiksi teiden vierelle rinnetampparilla tehtävillä polanneurilla.

Nollakelien ja erityisesti jäätymispisteen ohittavien lämpötilanmuutosten määrä ja osuus koko talven lämpötiloista lisää liukkaudentorjunnan tarvetta.

Etelä-Suomessa ja erityisesti etelärannikolla talvet ovat leudontuneet siten, että pitkät lämpimät jaksot ovat yleistyneet. Kun lämpötila on jatkuvasti lämpimän puolella, liukkaudentorjunnan tarve vähenee. Viime talvina sekä suolausten lukumäärä että suolan käyttömäärät ovat pienentyneet etelärannikolla.

Muualla Suomessa talvien leudontuminen on johtanut nollakelien yleistymiseen ja sitä kautta liukkaudentorjunnan tarve on lisääntynyt ja se on hankaloitunut. Talvihoitoluokissa Is ja I olevat päätiet pidetään pääosin suolalla paljaana. Näillä teillä painottuu ennakoiva liukkaudentorjunta, jolloin esimerkiksi jäätävien sateiden ennakointi tuottaa hankaluuksia.

Polanteisena ylläpidettävien teiden hoito on muuttumassa ongelmallisemmaksi. Selkeillä pakkaskeleillä polannetiet ovat pitäviä. Leudontuneiden talvien lämpöaallot saattavat pehmentää ja sulattaa polanteen sohjoksi useampaan kertaan talven aikana. Tarve sohjonpoistoon ja suolan käyttöön paljailla teillä lisääntyy. Toisaalta polanteen synnyttäminen useampaan kertaan talven aikana on hankalaa eikä saa tienkäyttäjiltä ymmärrystä. Lähellä nollaa olevat kelit lisäävät hiekoitustarvetta polanteisilla tiellä. Leudot viime talvet näkyvät lisääntyneinä hiekoitusmäärinä linjahiekoitusten yleistyessä erityisesti Itä- ja Pohjois-Suomessa. Hiekoitushiekan osalta on esitetty tarve siirtyä entistä enemmän murskattuun materiaaliin hiekan pysyvyyden parantamiseksi.

Hoitolinjauksen muuttaminen on tulossa vastaan erityisesti hoitoluokan Ib-teillä. Nämä ovat toimintalinjojen mukaan korkeatasoisesti, mutta pääosin ilman suolaa hoidettavia teitä. Tiet pyritään pitämään polannepintaisina ja liukkautta torjutaan suolalla pääosin syys- ja kevätiliukkailla tai vastaavissa "lämpimissä olosuhteissa" sekä erityisissä ongelmatilanteissa. Sydäntalven aikana käytetään piste- ja linjahiekoitusta tarpeen mukaan. Tätä toimintalin-

jojen mukaista hoitotapaa ei enää voida noudattaa eteläisessä Suomessa, koska teitä ei saada polanteisiksi. Vastaava tilanne on siirtymässä jatkuvasti pohjoisemmaksi, jolloin paineet suolalla hoidettavaan paljaan tien politiikkaan lisääntyvät.

Yhteenvetona lumenpoistosta ja liukkaudentorjunnasta voidaan haastattelujen perusteella todeta, että aurauksen suhteen pärjätään jatkossakin, mutta liukkaudentorjunta on muuttumassa vaativammaksi suuressa osassa maata. Suolan käyttötarve tulee lisääntymään eivätkä hoitourakoiden nykyiset suolakiintiöt tule riittämään. Myös hiekoitustarve ja erityisesti linjahiekoitusten tarve alemmalla tieverkolla tulee lisääntymään.

Rumpujen sulatus

Talven lämpöaaltojen aikana rumpujen sulatustarve on lisääntynyt huomattavasti etelärannikolla, koska vesisateet ja sulava lumi lisäävät kuivatustarvetta. On luultavaa, että ilmiö on talven lämpenemisen vuoksi leviämässä pohjoisemmaksi.

Lumitilan tarve

Taajamissa tarvitaan lumitilaa liikenneväyliltä poistettavan lumen varastoinniseksi. Taajamaväylien suunnitteluohjeissa (Tielaitos 1993) lumitilaa varten on esitetty taulukon 4 mukainen mitoitusohje. Taulukon hyvään ja tyydyttävään lumitilaan mahtuvat koko talven lumet, mutta välttävä lumitila on riittävä vain vähälumisina talvina.

Taulukko 4. Lumitilan leveys, jolla ei tarvita lumen poiskuljetusta (Tielaitos 1993).

Alue	Lumitila (m)	
	Hyvä ja tyydyttävä	välttävä
Etelä-Suomen rannikko	Auraussuunnan 0.5 * liikennetila	Auraussuunnan 0.35 * liikennetila
Etelä- ja Keski-Suomi	Auraussuunnan 0.75 * liikennetila	Auraussuunnan 0.5 * liikennetila
Pohjois-Suomi	Auraussuunnan 1.0 * liikennetila	Auraussuunnan 0.65 * liikennetila

Lumitilan tarpeessa on kaksi mitoittavaa tilannetta:

- Tilapäisen lumitilan tarve rankkojen lumisateiden jälkeen.
- Lumitilan tarve koko talven lumille.

Vaikka ilmastonmuutoksen seurauksena koko talvena satavan lumen määrä vähentynee, kertasateiden rankkuus ei ole vähenemässä. Tämän vuoksi tilapäiseen varastointiin tarvittavan lumitilan tarve ei ole pienentymässä. Sen sijaan yleistyvät lämpimät sääjaksot ja vesisateet tiivistävät lunta tehokkaasti, jolloin koko talven lumitilan tarve pienenee etenkin Etelä-Suomessa. Täs-

sä vaiheessa ei voida suositella lumitilan tarpeesta tinkimistä, mutta lumen poiskuljetuksen kustannukset tullevat pienenemään, mikäli lumitilat säilyvät entisen suuruisina.

Jäätiet

Turun saaristossa ei muutamaan talveen ole voitu toteuttaa maanteinä hoidettavia jääteitä. On nähtävissä ja ennustettavissa, että myös muualla maassa jääteiden ylläpito hankaloituu ja käyttöaika lyhenee.

Tämä johtanee siihen, että Tiehallinto tulee asteittain luopumaan jääteiden ylläpidosta. Lossien rinnalla ylläpidettävistä jääteistä lienee jo luovuttu.

Jääteistä luopuminen tuottaa pientä säästöä talvihoitokustannuksiin, mutta lisäkustannukset tienkäyttäjille pidentyneinä ajomatkoina ja -aikoina ovat huomattavasti suuremmat.

Yhteenveto

Talvihoidon toimintalinjat on vastikään uusittu eikä niihin ole tässä vaiheessa muutostarpeita. Talvihoito muuttuu siten, että eteläisessä Suomessa noudatettava hoitotapa siirtyy jatkuvasti pohjoisemmaksi. Paine pitää teitä suolalla paljaina lisääntyy ja erityisesti talvihoitoluokan Ib-teiden toimintatapaa ja palvelutasokuvausta on tarpeen joissain vaiheessa tarkistaa. Nollakelien yleistyessä suolan käyttömäärää on tarvetta lisätä eivätkä nykyiset hoitourakoiden "suolakiintiöt" ole riittäviä. Alemmalla tieverkolla polanteisten teiden hiekoitustarve, erityisesti linjahiekoitukset lisääntyvät etenkin Itä- ja Pohjois-Suomessa. Lumenpoiston osalta yleistyvät talvimyrskyt lisäävät lyhytaikaisia hankaluuksia, mutta kaikkiaan aurausmäärät säilyvät ennallaan tai pienentyvät talvien lyhentyessä. Liukkaudentorjunta puolestaan muuttuu monin tavoin entistä hankalammaksi varsinkin Keski- ja Pohjois-Suomessa.

5.2 Päälysteiden ylläpito

Lämpimät sateiset talvet lisäävät paljaiden tienpintojen osuutta talvikeleistä. Sen tiedetään nopeuttavan teiden kulumista. Talvirenkaiden käyttöaikaa on kuitenkin vaikea ainakaan lähiaikoina lyhentää, koska syksyn ensimmäiset ja kevään viimeiset liukkaat kelit esiintyvät kuitenkin edelleen samoihin aikoihin kuin tähänkin asti. Talvihoidon vuonna 2008 uusittujen toimintalinjojen lähtökohtana on edelleen, että valtaosa henkilöautosta käyttää nastarenkaita. Mikäli kitkarenkaiden käyttö yleistyy, vähentää se päälysteiden urautumista. Sitä voidaan selkeästi suositella tiestön kulumisen rajoittamisen näkökulmasta. Erityisesti vilkasliikenteiset tiet, joilla kuluminen on nopeinta, kuuluvat korkeimpiin hoitoluokkiin, ja poikkeustilanteita lukuun ottamatta niiden pinta pyritään pitämään paljaana.

Vuosien 2003 - 2008 palvelutasomittausten perusteella keskimääräinen urautumisnopeus on eteläisessä ja läntisessä Suomessa lisääntynyt 30 - 45 %. Mikäli oletetaan vastaava suhteellinen nopeutuminen urautumisen takia tehtävässä päälystyskierrrossa ja nousu kustannuksissa, voidaan todeta, että päälysteiden ylläpitotarve tulee nousemaan noin 20 miljoonalla eurolla vuosittain. Ylläpitotarve tulee myös kohdistumaan eri tavalla maan eri osiin

siten, että ylläpitotarve lisääntyy etenkin Etelä- ja Länsi-Suomessa. Erityisesti on huomattava, että koska urautuminen on alkanut muuttua viimeisimmän kahden - kolmen vuoden aikana, sen aiheuttama ylläpitotarpeen muutos realisoituu vasta joidenkin vuosien kuluttua. Nyt on kuitenkin varauduttava muutoksiin toiminta- ja taloussuunnitelmassa (TTS).

Liikennekuormitus roudan sulamisaikana ja muulloinkin pohjavedenpinnan ollessa korkealla lisäävät tierakenteiden ja pohjamaan pysyviä muodonmuutoksia. Tämä on ongelma erityisesti alemmalla tieverkolla. Kuivatuksen tehostaminen onkin ensiarvoisen tärkeää rakenteiden säilymisen kannalta. Kuivatuksen toimivuusvaatimusten käyttöönottoa alueurakoissa suositellaan.

Ruotsissa on arvioitu ilmaston muutoksen vaikutuksia tiestön ylläpitotarpeeseen erikseen vilkas- ja vähäliikenteisillä teillä (Nordlander et al. 2007). Asiantuntija-arviointi on tehty osa-alueittain (rakenneosittain). Tässä työssä tehtiin vastaavanlainen arviointi, jonka tulokset on esitetty taulukossa 5. Sen mukaan vilkkaalla verkolla vallitseva ylläpitotarpeen aiheuttava rappeutumismekanismi on päällysteen urautuminen, joka arvioidaan aiheuttavan 80 % ylläpitotarpeesta. Vaikutuksen arvioidaan myös lisääntyvän voimakkaasti, kuten myös luvun 4.4 Kuntorekisteriaineistojen tarkastelun perusteella voidaan perustellusti arvioida. Vähäliikenteisellä verkolla puolestaan noin puolet ylläpitotarpeesta arvioidaan aiheutuvan vaurioitumisesta ja kolmasosan epätasaisuudesta. Vaurioiden arvioidaan lisääntyvän voimakkaasti, mutta ylläpitotarpeen kokonaisuudessaan vain jonkin verran.

Taulukko 5. Ilmaston muutoksen arvioitu vaikutus tiestön kuntoon kahdentyyppisen esimerkkiteiden avulla.

	Päätie Etelä-Suomessa KVL = 10 000 ajon./vrk		Vähäliikenteinen tie Väli-Suomessa	
	Osuus ylläpitotarpeesta	Vaikutus	Osuus ylläpitotarpeesta	Vaikutus
Urautuminen: kuluminen ja deformaatio	80 %	2	5 %	1
Pohjamaan deformaatio	10 %	0	15 %	1
Epätasaisuus	?	0	30 %	1
Vauriot ja halkeamat	10 %	1	50 %	2
Kokonaisvaikutus		2		1

Vaikutus: - 2 = vähenee paljon, - 1 = vähenee hieman, 0 = ei muutosta, 1 = lisääntyy hieman, 2 = lisääntyy paljon

Päällysteiden ylläpidon osalta voidaan todeta, ettei välitöntä tarvetta ohjeiden tai toimintalinjojen muutoksiin ole. Erityisesti tulee tehostaa kuivatusta ottamalla kuivatuksen toimivuusvaatimukset käyttöön hoidon

Toiminta- ja taloussuunnittelu (TTS) -kaudella on varauduttava ylläpitotarpeen ja kustannusten lisääntymiseen noin 10–20 M€:lla, jos tulevat talvet ovat jatkuvasti märkiä ja lämpimiä. Ylläpitotarve kasvaa etenkin Etelä- ja Länsi-Suomessa. Ylemmällä tieverkolla ylläpitotarvetta lisää tiestön nopea urautuminen, vähäliikenteisellä verkolla vaurioituminen.

5.3 Sorateiden hoito ja ylläpito

Sorateiden hoidon ja ylläpidon uudet toimintalinjat

Sorateiden hoidon ja ylläpidon toimintalinjat on laadittu vuoden 2008 aikana. Uusissa toimintalinjoissa on otettu huomioon ilmastonmuutoksesta aiheutuvat vaatimukset tienpidolle.

Kesien pidentyminen ja muuttuminen lämpimämmiksi lisäänee sorateiden pölyämistä. Toimintalinjoissa edellytetään pölyntorjunnan tehostamista asiakaslähtöisesti: asutuksen ja viljelysten kohdalla ei sallita pölyn merkittävää leviämistä tien ulkopuolelle.

Lisääntyvät syyssateet tulevat vaikeuttamaan syyskelirikkoa. Myös kevätkelirikon ennustetaan vaikeutuvan. Tähän on syynä lisääntyneiden sateiden aiheuttama pohjavedenpinnan tason nousu sekä jäätymisen hidastuminen leutoina talvina.

Toimintalinjoissa on esitetty useita suosituksia, joilla voidaan vähentää kelirikkoa ja lievittää sen haittoja: Näitä ovat:

- Ylileveiden teiden kaventaminen 6,0 - 6,5 metriin.
- Tien pintojen muokkaaminen riittävän sivukalteviksi.
- Sivu- ja laskuojien toimivuuden varmistaminen. Kaikilla teillä ojitukset kunnostetaan vähintään 10 vuoden välein ja painorajoitusalttiilla teillä useammin.
- Kehitetään ja otetaan käyttöön pintakelirikon inventointi kelirikkotilanteen seuraamiseksi ja eri korjaustoimenpiteiden tehokkuuden arvioimiseksi.
- Pintakelirikkoalttiille teille asetetaan lisävaatimuksia kulutuskerrosmateriaalin laadulle.

Kuivatuksen tehostaminen ja ylläpito on tehtävä nykyistä suunnitelmallisemmin. Ohjeita tähän on esitetty mm. Tiehallinnon S14 tutkimusohjelman julkaisussa (Rantanen et al. 2005). Kuivatuksen ylläpidon varmistamiseksi suositellaan selvitettäväksi menettelytapoja kuivatuksen sisällyttämiseksi hoitourakoihin toimivuusvaatimuksia käyttäen. Kelirikkokorjausten tehokkuuden parantamiseksi suositellaan lisäpanostuksia niiden suunnitteluun. Tarkempia ohjeita on esitetty Tiehallinnon S14 tutkimusohjelman julkaisussa (Aho et al. 2005).

Ilmastonmuutoksen seurauksena kelirikkokausi pitenee ja syyskelirikot yleistyvät. Tämän vuoksi sorateiden rakenteelliseen kuntoon ja kelirikkoalttiuden vähentämiseen on tarpeen panostaa aikaisempaa enemmän. Kesäkauden pidentyminen ja talvien leudontuminen lisäävät ja hankaloittavat paljaiden sorateiden hoitoa. Sorateita joudutaan hoitamaan sorateina keskellä talveakin. Kesien lämpeneminen lisäävät pölyntorjunnan tarvetta. Vuonna 2008 laadituissa sorateiden hoidon ja ylläpidon toimintalinjoissa on otettu huomioon ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Ilmastonmuutoksesta johtuvan hoito- ja ylläpitotarpeen arvioidaan lisääntyvän 5–10 M€/v.

5.4 Siltojen hoito ja ylläpito

Välitöntä tarvetta ohjeiden tai toimintalinjojen muutoksiin ei ole. On kiinnitettävä huomiota niiden noudattamiseen, erityisesti on huolehdittava suolan pesusta keväisin, vaurioiden huolellisesta korjaamisesta ja sillan kuivatusjärjestelmän toimivuudesta. Virtaamien kasvu lisää eroosiota, ja tulvat saattavat olla aikaisempaa rajumpia. On varauduttava ylläpitotarpeen lisääntymiseen.

5.5 Muut hoitoon ja ylläpitoon liittyvät suositukset

Mitoitus- ja suunnitteluohjeet

Kuivatuksen suunnitteluohjeet kannattaa päivittää suuremmalle (kertaluonteiselle) mitoittavalle sademäärälle. Esimerkiksi Ruotsin suunnitteluohjeissa on annettu päivitetyt kertoimet suunnitteluohjeen mitoitussademäärille ilmastoalueittain.

Tierakenteen mitoituksessa voitaisiin kehittää ja ottaa käyttöön vuodenaikajaksotus. Näin pystytään varmistamaan eri vauriomekanismien kannalta kriittinen kapasiteetti, mm. korkean pohjavedenpinnan ja roudan sulamisveden aikaan.

Pohjarakenteiden mitoituksessa (vakavuuslaskelmat) on huomioitava runsaiden sateiden ja kohonneen pohjavedenpinnan aiheuttama kapasiteetin pieneneminen. Evidenssiä ei kuitenkaan ole, että saataisiin muutokset määrällistettyä tai ohjeistettua tarkemmin.

Päällystenormien mukaiset vaatimukset päällysteen vedenkestävyydelle tulee tarkistaa.

Tievalaistuksen tarve lisääntyy

Lumipeite lisää tievalaistuksen tehoa (luminanssia) 30 % mustaan maahan verrattuna. Alkupalven pimeiden, märkien ja sulien keliä yleistymisen lisää tievalaistuksen tarvetta.

Nykyisellään sääolot eivät sisälly valaistustarpeen arviointiperusteisiin. Valaistustekniikkaa tullaan lähivuosina uusimaan vähemmän energiaa kuluttavaksi. Tulossa on myös mahdollisuus säätää valaistuksen tehoa liikennemäärän mukaan. Kun tievalaistuksen energiatarve on pienenemässä, valaistuksen määrää tulisi voida lisätä näkyvyyden kannalta hankaloituvien olosuhteiden kompensoimiseksi. Tievalaistuksen on todettu vähentävän pimeän ajan onnettomuuksia keskimäärin noin 10 %.

6 VAIKUTUKSET HOIDON JA YLLÄPIDON KUSTANNUKSIIN

Tieverkon hoidon ja ylläpidon kustannuksiksi vuonna 2009 arvioidaan 465 M€ (taulukko 6). Hoito ja ylläpito vievät 85 % perustienpidon rahoituksesta.

Ilmastonmuutoksen arvioidaan kokonaisuudessaan lisäävän hoidon ja ylläpidon kustannuksia, vaikka joiltain osin saadaan myös säästöjä. Selvityksen tulosten perusteella voidaan päätellä muutossuuntia ja myös muutosten voimakkuutta hoidon ja ylläpidon eri tuotteiden kohdalla, mutta muutosten euromääräisten vaikutusten arviointiin ei selvitys vielä anna riittäviä eväitä. Muutokset tapahtuvat pitkällä aikavälillä ja niiden vaikutuksia on vaikea erottaa voimakkaastakin vuosivaihtelusta. Kokonaisarvioita tehtäessä on tarpeen ottaa huomioon, että ilmastonmuutoksen vaikutukset kunnossapitoon ja sitä kautta kustannuksiin ovat erilaisia ja jopa erisuuntaisia maan eri osissa. Vaikka viime talvet ovat olleet talvihoidon kannalta poikkeuksellisen hankalia, ei hoidon ja ylläpidon kustannuksissa ole odotettavissa nopeaa dramaattista nousua, vaan muutos tapahtuu pitemmällä, jopa kymmenien vuosien aikavälillä.

Taulukko 6. Tienpidon kustannukset tuotteittain ja arvio ilmastonmuutoksen vaikutuksista kustannuksiin. Kustannuslähde: Tiehallinnon toiminta- ja taloussuunnitelma 2009 - 2013, marraskuu 2008.

	Kustannukset v. 2009 ¹		Ilmastonmuutoksen vaikutus	
	milj. €/v	%	Suunta ²	Perustelu
Tieverkon hoito	230,1	44 %		
- talvihoito	101,6	19 %	+	Lumenpoisto säilyy ennallaan, mutta liukkaudentorjunta vaikeutuu ja kallistuu.
- liikenneympäristön hoito	64,6	12 %	0	
- sorateiden hoito	28,7	5 %	++	Sorateiden hoitokausi pitenee erityisesti syksystä. Sorateiden kunnostus talvea varten hankaloituu. Kelirikon hoitotarve lisääntyy.
- lauttaliikenne + jäätiet	35,2	7 %	-	Lauttaliikenne helpottuu jäiden ohentuessa. Jäätien poisjäänti lisää
Tieverkon ylläpito ja korvausinvestoinnit	235,4	45 %		lauttaliikennettä.
- päällysteiden uusiminen	68,3	13 %	++	Päällysteet enemmän paljaita ja kulutukselle alttiita.

- päällysteiden paikkaus	65,5	12 %	++	Lisääntyvät jäätymis- sulamissyklit rapauttavat päällysteiden
- tiemerkinnot	15,3	3 %	0	Maakintojen kulumisen nopeutuu paljailla ja märillä päällysteillä. Lu- menpoiston vähentäminen vähentää
- siltojen ylläpito	46,4	9 %	+	Lisääntyvät sulan kauden lämpötilan nousu nopeuttavat korroosiota. Tulvat hankaloittavat silttojen ylläpitoa.
- kelirikkokorjaukset	15,4	3 %	+	Lisääntyvät sateet ja kohoava pohjavedenpinta pahentaa kelirikkoa ja lisää korjaustarvet- ta
- varusteiden ja laitteiden ylläpito	20,2	4 %	0	
- liikenneympäristön parantaminen	4,3	1 %	0	
Liikenteen operatiivinen ohjaus	7,4	1 %	0	Tarpeet jäätävien sateiden, talvimyrskyjen ja tulvien ennustamisessa lisääntyvät.
Perustienpidon uus- ja laajennusinvestoinnit	25,9	5 %		
Suunnittelu	29,5	6 %		
Perustienpito yhteensä	528,3	100 %		

¹ vuoden 2009 suunnitelma

² muutossuunnat: ++ = kustannukset lisääntyvät huomattavasti, + = kustannukset lisääntyvät jonkin verran, - = kustannukset vähentyvät, 0 = ei vaikutusta

Talvihoidossa avaruskustannukset vähentyvät Etelä-Suomessa ja säilyvät nykyisellään Keski- ja Pohjois-Suomessa. Liukkaudentorjunnan kustannukset lisääntyvät nollakelien yleistyessä Keski- ja Pohjois-Suomessa. Etelä-Suomessa selvästi lämpimän puolella olevat jaksot lisääntyvät, mikä helpottaa liukkaudentorjuntaa. Talvihoidon toimintalinjojen tarkistuksen vaikutuksiksi arvioidaan 8 - 9 milj. € vuodessa (8 - 9 %), joka kokonaisuudessaan toteutuu 5 -7 vuodessa hoitourakoiden kilpailuttamisen myötä. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat selvästi hitaampia.

Sorateiden hoidossa kustannukset lisääntyvät sulan ja roudattoman kauden pituuden kasvaessa. Lounaisrannikolla sorateita on ollut tarpeen hoitaa sorateina myös talvisaikaan ja tämä yleistyy muuallakin Etelä-Suomessa. Keski-Suomessa sorateiden syyskunnostus ennen talvea on muuttunut hankalammaksi talven tulon viivästyessä.

Päällysteiden hoito ja ylläpito kallistuvat huomattavasti, jopa kymmenillä miljoonilla euroilla. Lisääntyvässä määrin paljaat ja märät päällysteet urautuvat nopeammin. Toisaalta myös nastarenkaiden käyttäjien määrä ja käyttöaika tulee vähenemään. Nollan vaiheilla oleviin lämpötiloihin liittyvät tierakenteen ja päällysteen jäätymis-sulamissyklit rapauttavat päällysteitä ja lisäävät korjaamistarvetta. Päällysteet tulisi pitää tiiviinä siten, että veden pääsy rakenteisiin estyy.

Paljailla ja märillä päällysteillä tiemerkinnot kuluvat nopeammin. Toisaalta tiemerkinnot tulisi olla aikaisempaa näkyvämpiä alkutalven pimeillä ja märillä keleillä. Näistä syistä tiemerkinnot uusintaan on tarpeen lisätä rahoitusta. Toisaalta lumenpoiston vähentyessä aurauskaluston aiheuttama kuluminen vähenee.

Siltojen korroosio nopeutuu toisaalta lisääntyneen suolan käytön vuoksi ja toisaalta siksi, että korroosio nopeutuu keskilämpötilan noustessa. Tulvien ja virtaamien voimistuminen lisää virtapilareiden ja muiden vedenalaisten rakenteiden kulumista ja varmuustarpeita. Siltojen kansirakenteiden ja kuivatuksen kunto on yhä tärkeämpää ja vaatii rahoitusta.

Roudan väheneminen altistaa kelirikkoteitä raskaan liikenteen kulutukselle. Aikaisemmin kantaville talvikeleille ajoitettuja raskaan liikenteen puu- ja turvekuljetuksia tehdään enemmän sulan maan aikaan, jolloin teiden vaurioitumisriski lisääntyy. Aikaisemmin jäätyneen maan aikaan tehtyjen kuljetusten mahdollistamiseksi on kelirikkoteiden parantamista tarpeen lisätä.

7 LÄHDEAINEISTO

Aho, S., Saarenketo, T. & Kolisoja, P. 2005. Kelirikkokorjausten suunnittelu ja rakentaminen. Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 64/2005. 54 s. + liitt. 8 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-640-3, TIEH 3200978. Helsinki 2005.

Gregow, H., Venäläinen, A., Laine, M., Niinimäki, N., Seitola, T., Tuomenvirta, H., Jylhä, K., Tuomi, T. & Mäkelä, A. 2008. Vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä Suomen muuttuvassa ilmastossa. Ilmatieteen ~~2008~~ Raportteja No.

IPCC. 2007. Climate Change 2007 – The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Jylhä, K., Fronzek, S., Tuomenvirta H., Carter, T. R. & Ruosteenoja, K. 2008. Changes in frost, snow and Baltic sea ice by the end of twenty-first century based on climate model projections for Europe. Climatic Change 86: 441-462.

Laine, V., Ehrola, E. & Venäläinen, A. 2000. Sää ja talvihoito. Tutkimus uuden sääindeksin tekemiseksi. Tielaitoksen selvityksiä 22/2000. Helsinki 2000.

Nakićenović, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T. Y., Kram, T., La Rovere, E. L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N. & Dadi, Z. 2000. Emission scenarios, a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p 599.

NVF. 2008. Nordiska Vägtekniska Förbundet, Utskott 41, Klimatförändringar - påverkan på väghållningen.

Nordlander, Löfling, Andersson. 2007. "Vägverkets rapport till Klimat och sårbarhetsutredningen – gruppen transporter".

Nordlander, H. 2008. Hur påverkas vägnätet av klimatförändringen? Seminaariesitys. Vägverket.
(<http://www.roadtechnology.se/sve/files/W2%20H%C3%A5kan%20Nordlander%20pres%20road%20tech%20Sthlm%20080507%20HN.pdf>)

Persson, G., Barring, L., Kjellström, E., Strandberg, G. & Rummukainen, M. 2007. Climate indices for vulnerability assessments. SMHI Reports Meteorology Climatology No. 111.

Rantanen, T., Turunen, J. & Nousiainen, A. (2005): Vähäliikenteisten teiden kuivatus, ominaispiirteet ja kunnostaminen. Helsinki 2005. Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 65/2005, 38 s + liitt. 18 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-651-9, TIEH 3200979.

Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Tuomenvirta, H. 2005. Climate scenarios for FINADAPT studies of climate change adaptation. FINADAPT Working Paper 15, Finnish Environment Institute Mimeo-graphs 345, Helsinki, 32 pp.

Ruotoistenmäki, A., Kuskelin, A. & Virtala, P. 2009. Automaattisen päälystevauriomittauksen (APVM) tulosten käyttöönotto. 2009. Tiehallinto, Keskushallinto. Tiehallinnon selvityksiä 4/2009, 62 s. + liitt. 5 s. ISSN 1459-1553, ISBN 978952221158-3, TIEH 3201118-v. Helsinki 2009.

Räisänen, J. 2009. Oliko vuoden 2008 lämpimyys poikkeuksellista? Ilmastokatsaus 12/2008. Ilmatieteen laitos.

Saarelainen, S. & Makkonen, L. 2007. Ilmastomuutokseen sopeutuminen tienpidossa. Esiselvitys. Tiehallinnon selvityksiä 04/2007. Helsinki 2007.

Saarelainen, S. 2008. Ilmastomuutoksen vaikutukset ja varautuminen väylärakentamisessa ja väylien ylläpidossa. Esitelmä Ygoforum-seminaarissa 12.9.2008. VTT.

Salli, R., Lintusaari, M., Tiikkaja, H. ja Pöllänen, M. 2008. Keliolosuhteet ja henkilöautoliikenteen riskit. Tampereen teknillinen yliopisto, Tiedonhallinnan ja logistiikan laitos. Liikenne ja kuljetusjärjestelmät. Tutkimusraportti 68. Tampere 2008.

Tielaitos. 1993. Pääväylät kaupunkialueilla. Yleiset suunnitteluperiaatteet. TIEL 2130011. Tielaitos, kehittämiskeskus. Helsinki 1993.

Tiehallinto. 2007. Tiehallinnon teiden ja siltojen kunto 2006. Helsinki 2007. Tiehallinto, palvelujen suunnittelu. Tiehallinnon selvityksiä 31/2007, 36 s. + liitt. 11 s. ISSN 1457-9871, ISBN 978-951-803-908-5, TIEH 3201057.

Tiehallinto. 2008. Sorateiden hoidon ja ylläpidon toimintalinjat 5.12.2008.

Tveito, O. E., Førland, E., Heino, R., Hansen-Bauer, I., Alexandersson, H., Dahlström, B., Drebs, A., Kern-Hansen, C., Jónsson, T., Vaarby-Laursen, E. & Westman, Y. 2000. Nordic temperature maps, DNMI Report 09/00 KLIMA.

Tveito, O. E., Førland, E., Alexandersson, H., Drebs, A., Jónsson, T. & Vaarby-Laursen, E. 2001. Nordic climate maps, DNMI Report 06/01 KLIMA.

Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Lahtinen, R. & Heikinheimo, M. 2001. The influence of climate warming on soil frost on snow-free surfaces in Finland. Climatic Change 50: 111-128.

8 LIITTEET

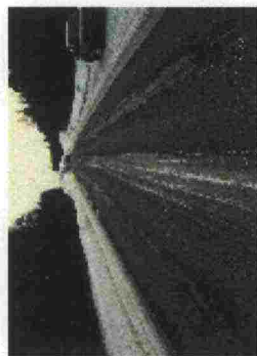
- | | |
|---------|---|
| Liite 1 | Talvihoidon laadunseurannan kelikoodien kuvaukset |
| Liite 2 | Kelijakauma tiepiireittäin talvikausina 2005 - 2008 talvihoidon laadunseurannan (TALLA) perusteella |
| Liite 3 | Aurauksen ja sohjonpoiston toimenpidemäärät ilmastoalueittain |
| Liite 4 | Suolauksen toimenpidemäärät ilmastoalueittain |

LIITE 1

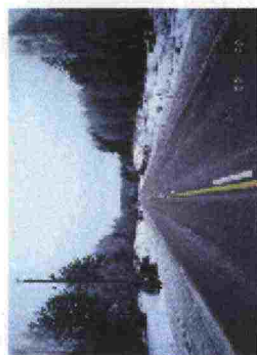
Talvihoidon laadunseurannan kelikoodien kuvaukset



4. Polanteessa kapeat paljaat urat, jotka peittävät alle puolet ajokaistan pinta-alasta.



3. Tiellä on polanteessa leveät paljaat urat, jotka peittävät yli puolet ajokaistan pinta-alasta.



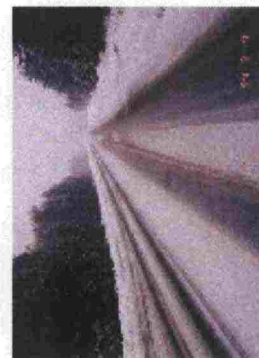
2. Päljaan näköisellä päällysteellä on liukkautta (ohut jää, kuura, huurte, liukkautta aiheuttava lumipöly jne.).



1. Tie on paljas (kuiva, kostea tai märkä) koko ajokaistan osalta.



8. Tiellä sohjoa valleina tai kauttaaltaan, haittaa liikennettä



7. Tiellä inolunta valleina tai kauttaaltaan, haittaa liikennettä



6. Koko ajokaista epätasaiseen tai urautuneen lumi- tai jääpolanteen peitossa.

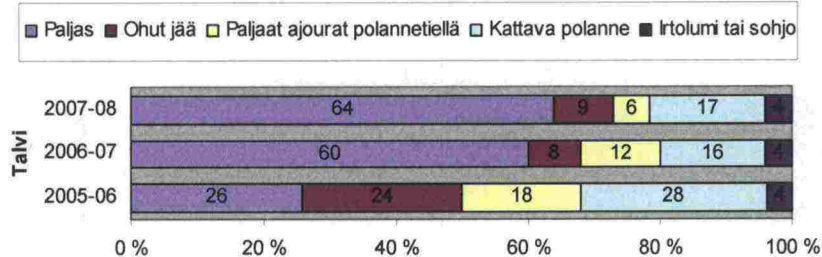


5. Koko ajokaista tasaisen lumi- tai jääpolanteen peitossa.

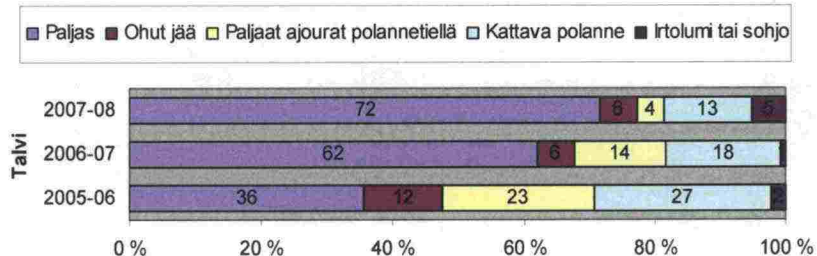
LIITE 2

Kelijakauma tiepiireittäin talvikausina 2005 - 2008 talvihoidon laadun-
seurannan (TALLA) perusteella

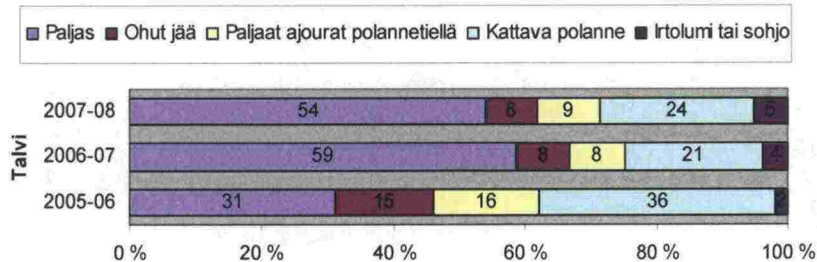
Kelijakauma Uudenmaan tiepiirissä talvina 2005 - 08



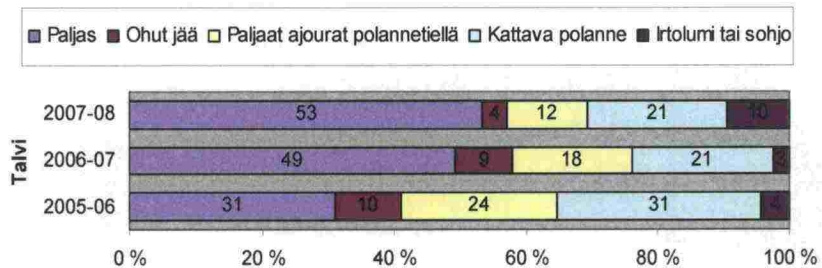
Kelijakauma Turun tiepiirissä talvina 2005 - 08



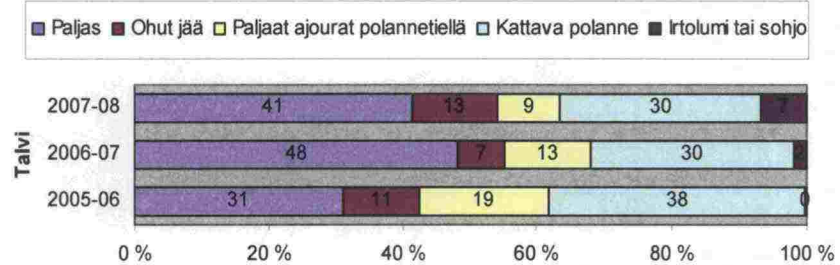
Kelijakauma Kaakkois-Suomen tiepiirissä talvina 2005 - 08



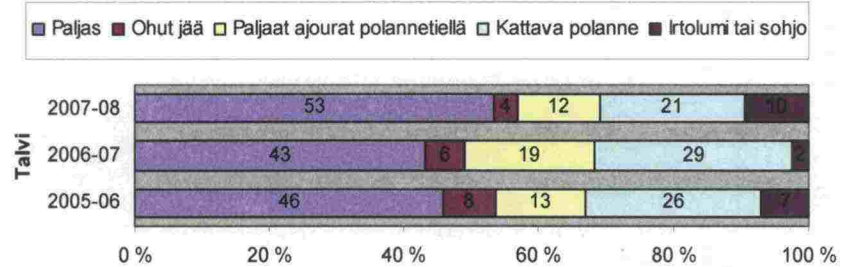
Kelijakauma Hämeen tiepiirissä talvina 2005 - 08



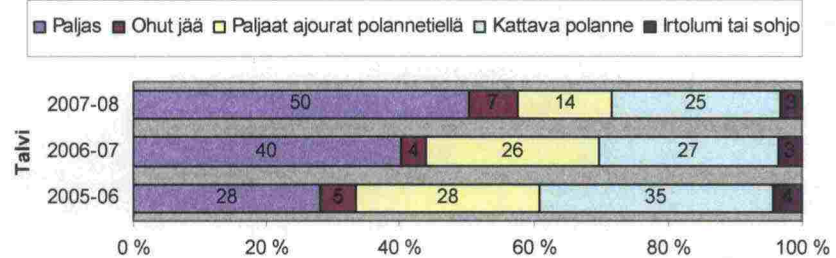
Kelijakauma Savo-Karjalan tiepiirissä talvina 2005 - 08



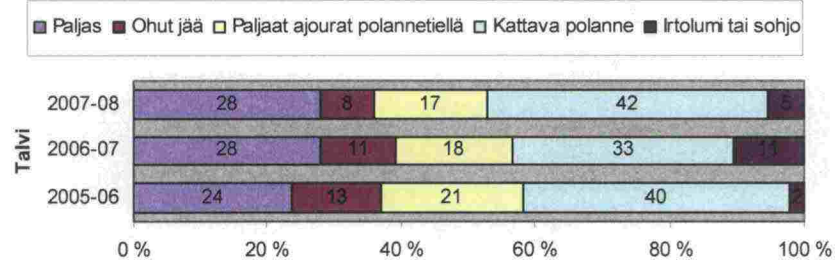
Kelijakauma Keski-Suomen tiepiirissä talvina 2005 - 08



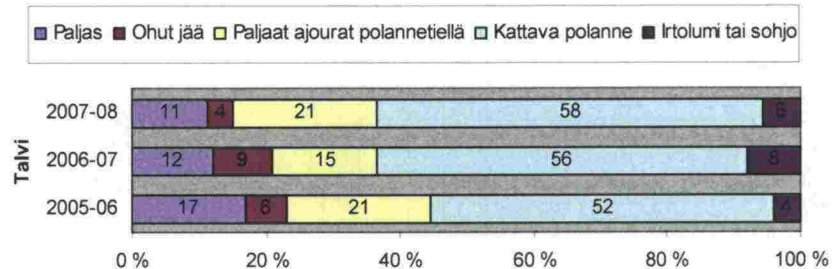
Kelijakauma Vaasan tiepiirissä talvina 2005 - 08



Kelijakauma Oulun tiepiirissä talvina 2005 - 08

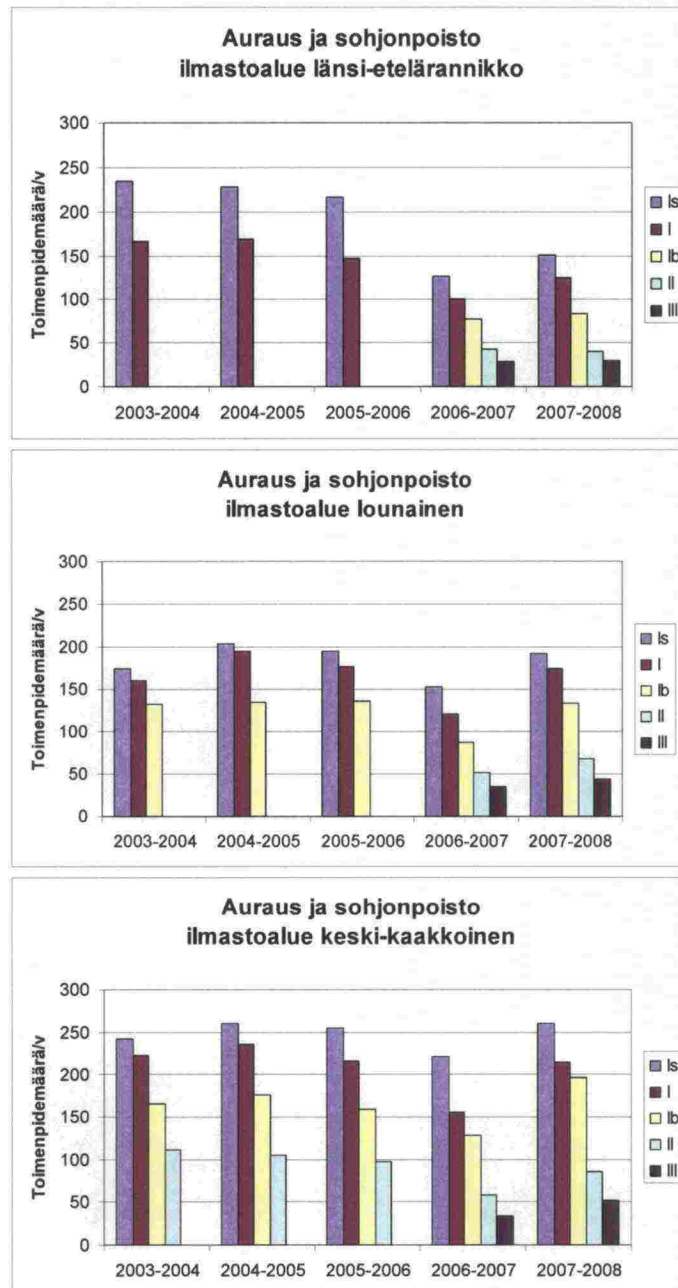


Kelijakauma Lapin tiepiirissä talvina 2005 - 08

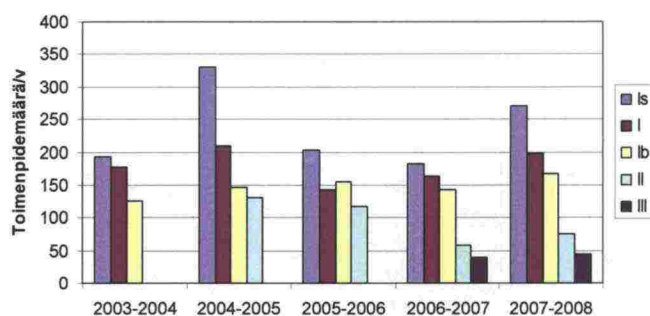


LIITE 3

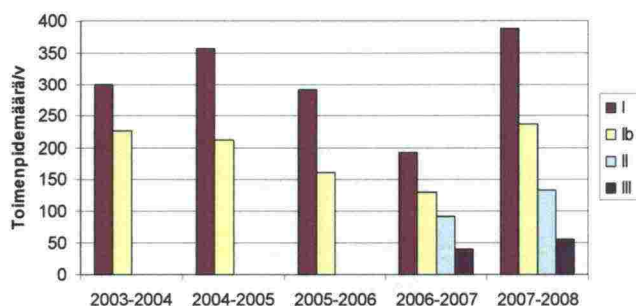
Aurauksen ja sohjonpoiston toimenpidemäärät ilmastoalueittain



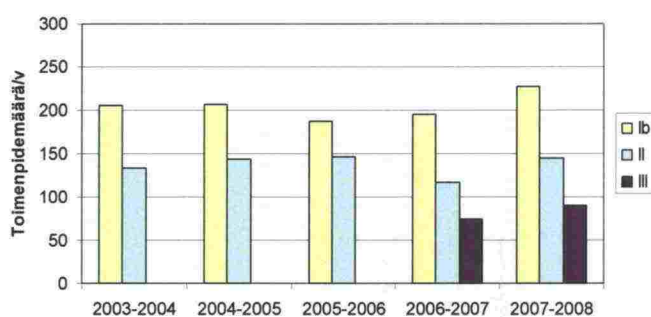
**Auraus ja sohjonpoisto
ilmastoalue pohjoisrannikko**



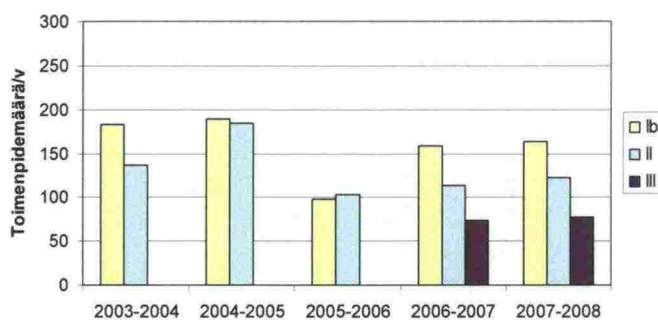
**Auraus ja sohjonpoisto
ilmastoalue alaitäinen**



**Auraus ja sohjonpoisto
ilmastoalue yläitäinen**

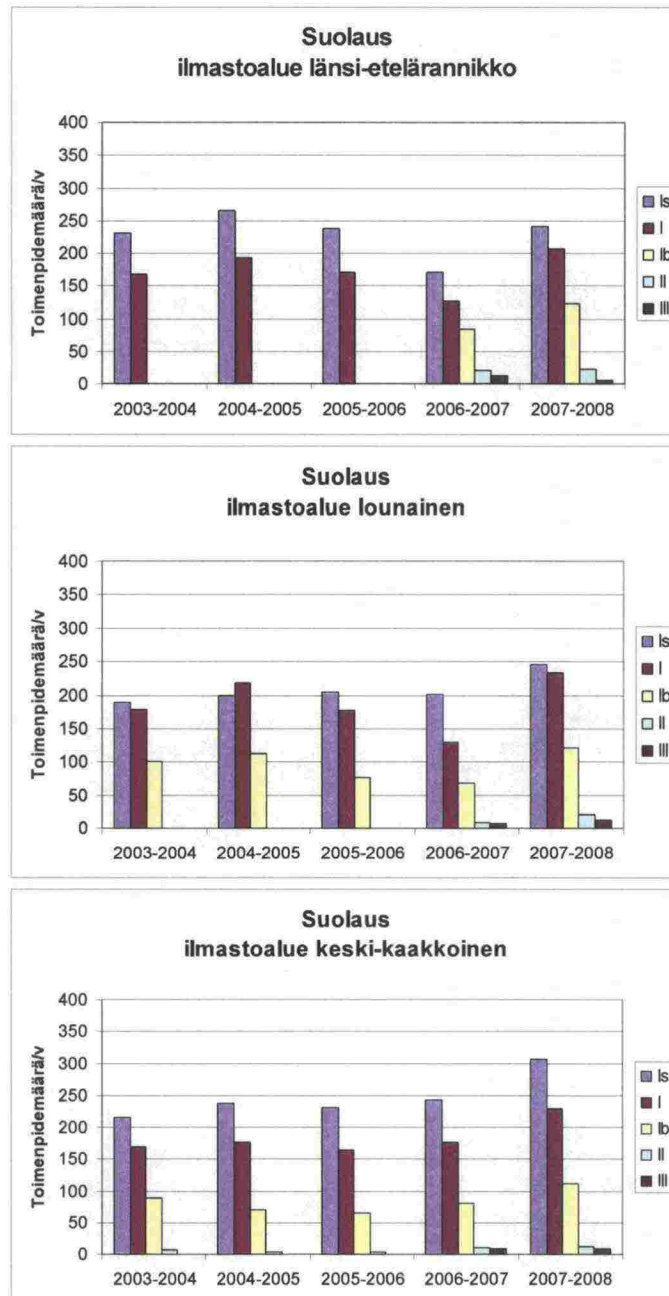


**Auraus ja sohjonpoisto
ilmastoalue Lappi**

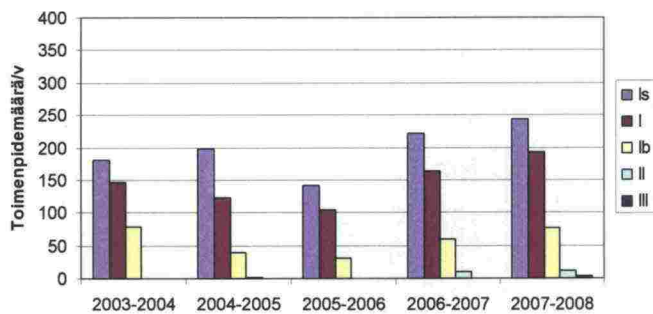


LIITE 4

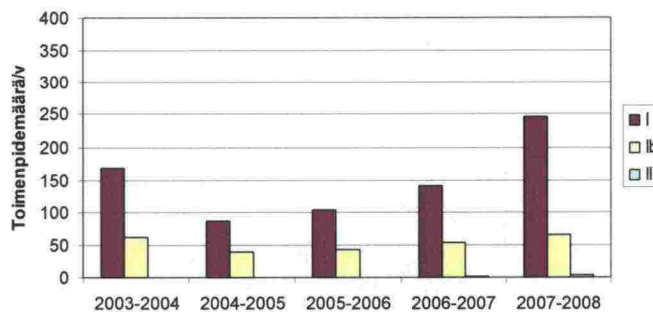
Suolauksen toimenpidemäärä ilmastoalueittain



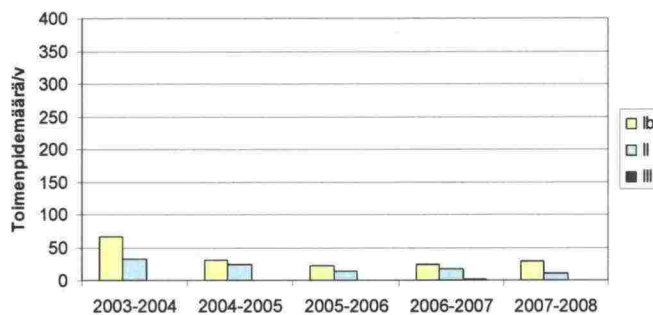
Suolaus
ilmastoalue pohjoisrannikko



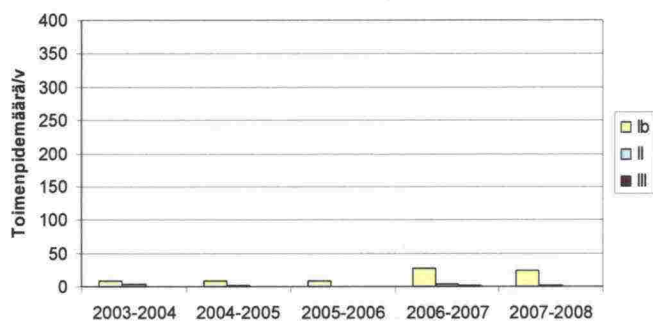
Suolaus
ilmastoalue alaitäinen



Suolaus
ilmastoalue yläitäinen



Suolaus
ilmastoalue Lappi



ISSN 1459-1553
ISBN 978-952-221-172-9
TIEH 3201122-v